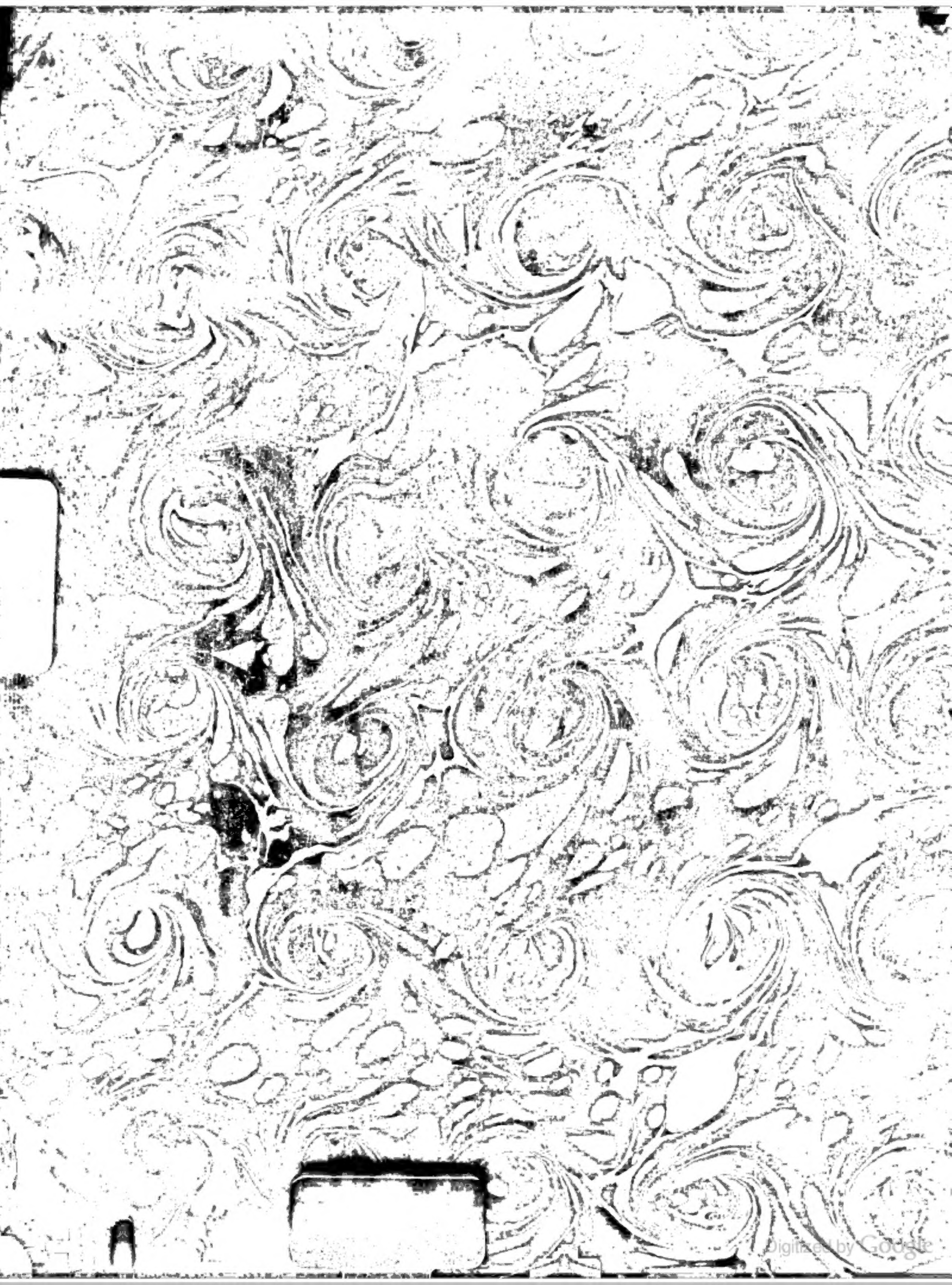
Digitized by Google


Digitized by Google

Digitized by Google

~~143-4-~~

11ª = 4267

FLL
19.9.37

~~7665~~

~~64-4ª 20213~~

Digitized by Google

TRAITÉ DU NAVIRE,

DE SA CONSTRUCTION,

ET DE SES MOUVEMENS.

19937

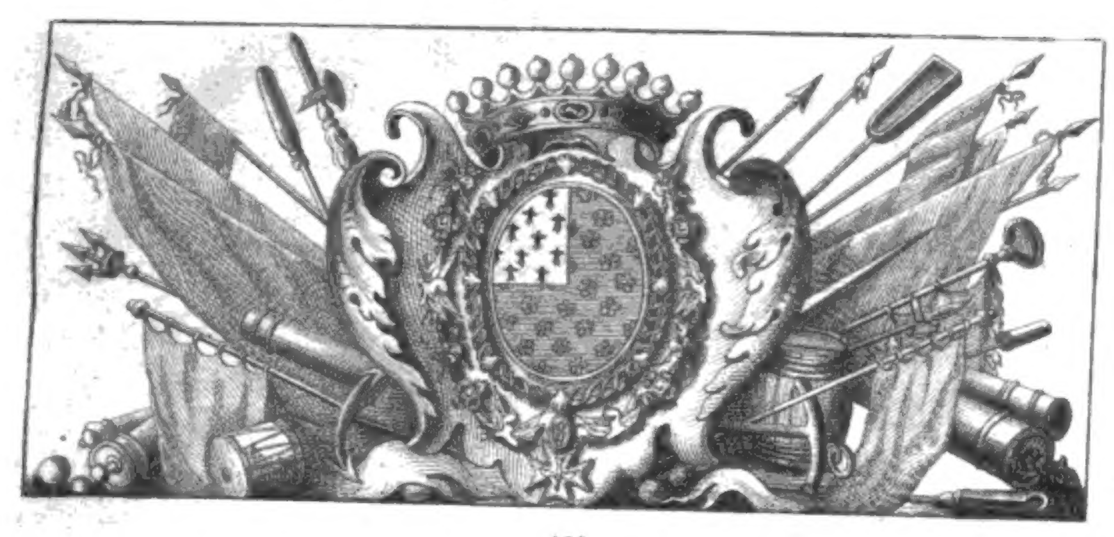
Par M. BOUGUER, *de l'Académie Royale des Sciences, ci-devant Hydrographe du Roy au Port du Croisic & au Havre de Grace.*

A PARIS, QUAY DES AUGUSTINS.
Chez JOMBERT, Libraire du Roy pour l'Artillerie & le Génie, au coin de la rue Gille-Cœur, à l'Image Notre-Dame.

M. DCC. XLVI.
AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROY.

Digitized by Google

Digitized by Google



À

MONSEIGNEUR LE COMTE DE MAUREPAS,

Ministre & Secretaire d'Etat de la Marine.

ONSEIGNEUR,

La protection dont vous honorez les Savans, vous donne de vrais droits sur

Digitized by Google

tous leurs Ouvrages, & leur impose en même tems la loi de s'appliquer à les rendre dignes de vous être présentés. Le Public en recueille le fruit; & sçait combien il en est redevable à la faveur d'un Ministre éclairé, qui au milieu même des guerres dont l'Europe est agitée, n'a cessé d'animer les Sciences par ses regards, & d'en hâter les progrès par ces Entreprises fameuses, qui seront des monumens éternels de la sagesse de ses vûës, & qui feront l'admiration de la postérité.

Vous avez voulu, MONSEIGNEUR, *que j'eusse quelque part à la Commission honorable d'executer, sous l'Equateur, une petite partie de ces vastes projets. Pendant qu'au Pérou je me livrois à cette occupation, en ne négligeant rien pour remplir vos*

Digitized by Google

ordres, j'ai profité de tous les momens dont il m'a été permis de diſpoſer, pour travailler à la compoſition de ce Traité ſur la Conſtruction des Vaiſſeaux & la Théorie de leur Manœuvre. Le déſir que j'avois de vous l'offrir, m'a ſoutenu contre des difficultés extrêmes, qui venoient tant de la nature du ſujet très-compliqué par lui-même, que de la ſituation où je me trouvois alors; & à peine le Livre fut-il achevé, que j'eus l'honneur de vous écrire, pour vous ſuplier d'agréer qu'il parût ſous vos auſpices. La conſécration vous en a été faite, MONSEIGNEUR, *d'une des extrêmités de la Terre; puiſſe cette circonſtance donner quelque mérite à mon hommage! Si cet eſſai de mon zèle, pour perfectionner la Navigation, n'a pas tout le ſuccès que j'en attens, il me procure au*

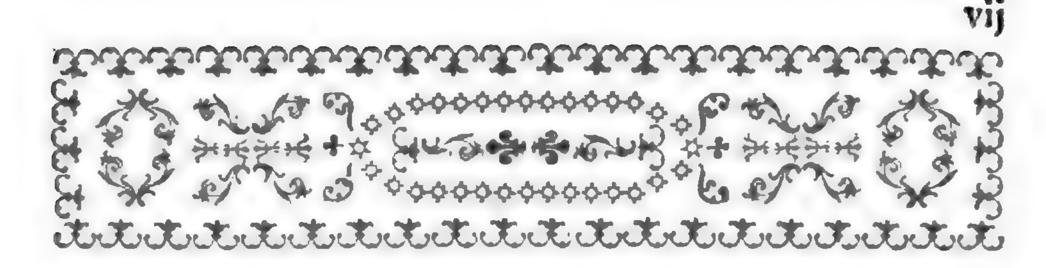
Digitized by Google

moins une occaſion qui m'eſt infiniment pré-tieuſe, de rendre publique la juſte & vive reconnoiſſance que je reſſens pour tous les bienfaits dont vous m'avez comblé. Je ſuis avec un profond reſpect,

MONSEIGNEUR,

Votre très-humble &
très-obéiſſant ſerviteur,
BOUGUER.

Digitized by Google



PREFACE.

IL n'étoit guére possible que l'Architecture navale, compliquée comme elle l'est par la multitude des diverses connoissances qu'elle supose, fit des progrès aussi rapides que les autres parties de la Marine qui sont incomparablement plus simples. Il falloit non-seulement que les diverses Théories sur le mouvement dont elle dépend, & dont l'époque est assez recente, fussent portées plus loin, il étoit encore nécessaire que l'Analyse même & les méthodes géométriques qui devoient servir à résoudre les grandes difficultés qui lui sont propres, parvinssent elles-mêmes à un degré de perfection qu'il n'y a pas longtems qu'elles ont acquis. Aucune matiere ne demandoit davantage à être éclairée de la lumiere des Mathématiques ; & il est certain qu'aucune n'en a été plus privée jusques à présent. Rebutés à la vûë des premiers obstacles, les Marins cesserent trop tôt de faire de nouveaux efforts ; & ils prirent un parti qui ne pouvoit être dicté que par le desespoir, celui de se livrer à la Pratique la plus imparfaite, en s'interdisant tout secours de la part de la Théorie. On avoit un exemple sous les yeux, & on ne voulut y faire aucune attention : On ne considera point que quoique l'Architecture militaire soit extrêmement plus facile, rien ne s'est exécuté de tout tems à son égard, que par la direction de la Géométrie & des Mécaniques.

Il ſuffit cependant de jetter les yeux ſur les tentatives qui ont été faites ſur la Conſtruction, pour reconnoître, que ſoit parce qu'elles ont été trop limitées, ſoit par le défaut de quelques autres conditions eſſentielles, elles n'ont jamais été d'une nature à faire deſeſperer du ſuccès. Nous ne pouvons mettre qu'entre ces eſſais abſolument hazardés, celui de Pierre Janſſe de Horne, qui crut au commencement de l'autre ſiécle, avoir ſaiſi l'idée archétype des Vaiſſeaux parfaits, en empruntant les dimenſions de l'Arche de Noé. Cet homme, dont nous devons louer au moins les bonnes intentions, ne remarquoit pas que l'Arche, bien loin d'être deſtinée à naviger avec viteſſe, ne devoit ſervir qu'à ſoutenir un grand poids preſqu'en repos ſur les eaux du Déluge. Il lui reſtoit outre cela les dimenſions des voiles à regler, lors qu'abandonné à ſes propres idées, ſon modéle lui manquoit dans le plus grand beſoin : malheureuſement le Navire de Noé étoit ſans mâture ; & celle qu'il falloit que Janſſe diſpoſât de ſon chef, n'ayant pas de ſon propre aveu le même degré d'autorité que le reſte, ſon entrepriſe pouvoit échouer par cet endroit. On a fait dans d'autres tems quelques autres tentatives avec auſſi peu de connoiſſance, & qui ne pouvoient pas mieux réuſſir.

Il ſemble que ſi l'Architecture navale devoit ſe perfectionner, c'étoit dans les conférenes qui ſe tinrent à Paris vers 1681, où aſſiſtoient, avec pluſieurs Conſtructeurs habiles, pluſieurs Officiers fameux, comme M. le Marquis du Queſne & M. le Chevalier Renau, qui peu d'années après publia un Livre ſur la Théorie de la Manœuvre. Il réſulta effectivement de ces conférences un avantage conſidérable pour la Marine. On fixa entre les principales dimenſions des Navires, ces mêmes proportions qu'on obſerve

ſerve encore tous les jours, leſquelles ſe trouvent dans différens Livres & qui ſont autoriſées par l'Ordonnance des Arſenaux de 1689. Mais ce qui eſt infiniment préférable, M. Renau y communiqua une méthode reglée de former les Plans ou Profils des Navires, en aſſujettiſſant aſſez toutes les parties les unes aux autres, pour rendre leur figure plus uniforme ou plus ſimétrique: au lieu que les pratiques qu'on avoit ſuivies juſqu'alors, abandonnoient la diſpoſition de preſque tout l'ouvrage au hazard ou au caprice de l'Ouvrier.

Il eſt vrai qu'on ſe contenta dans ces Aſſemblées d'éfleurer à peine le ſujet: on s'arrêta à un examen trop abſtrait de la ſeule forme extérieure des Navires. On les conſidera comme des corps géométriques, dont on croyoit déja ſçavoir à peu près la figure, & dont il ne s'agiſſoit que de former les contours avec plus de facilité ou plus d'élegance. Il ne fut nullement queſtion d'entreprendre le travail auſſi long que pénible, de les traiter comme des corps phyſiques & hétérogenes; & ſi on le ſentit, on n'oſa pas l'avouer, que toutes les parties du Vaiſſeau ont entr'elles des rapports exacts & ſecrets, qu'il n'appartient pas à la Géométrie pure de déterminer, mais qui ſont du reſſort de la Phyſique ou de la Mécanique. C'eſt au moins ce qu'on peut inférer du récit ſuccint qu'en fait M. du Hamel dans ſon Hiſtoire de l'Académie, où il ſe contente de nous aprendre, que M. Renau formoit les courbures des Navires par le moyen d'une Section conique. Si on préferoit ces lignes courbes, ce n'eſt pas qu'on eût découvert qu'elles jouiſſoient de quelques avantages particuliers qui les rendiſſent plus propres à cet uſage: on ne les employoit que parce qu'elles étoient plus connuës ou plus faciles à décrire; elles ſe préſentoient les premieres.

ENFIN le P. Hoste, Professeur Royal à Toulon, qui n'étoit pas moins homme de Mer qu'habile Mathématicien, est l'Auteur qui a fait des efforts dont on pouvoit naturellement attendre le plus, & dont nous connoissions en même tems toutes les vûës particulieres. Il donna au Public en 1697 un assez gros Livre sous le titre de *Théorie de la construction des Vaisseaux.* Nous ne faisons pas ici mention du Traité de N. Witssen, qui s'est fait un si grand nom en Hollande; car quoique cet Ouvrage soit excellent à certains égards, & que même les Etats Généraux en le suprimant ayent paru en être jaloux, il s'en falloit beaucoup que l'Architecture navale ne fût parvenuë alors au point où l'expérience seule la portée depuis. Outre cela Witssen, qui ne se proposoit pas moins de parler de la Navigation des Anciens que de celle des Modernes, consideroit son sujet dans un point de vûë trop éloigné, pour discerner les défauts des Méthodes qui regnoient de son tems. Le savant Jésuite au contraire en sentit toutes les imperfections : il vit bien qu'il ne suffisoit pas de fixer les regles ordinaires ou de les exprimer par des pratiques de Géométrie, comme le faisoit M. Renau; puisqu'on les laissoit telles qu'elles étoient, sans en changer la nature. Le Traité de la Théorie de la construction dont il s'agit est à la suite de celui des évolutions Navales, Ouvrage original que les Officiers de Marine ne sauroient trop consulter, puisqu'il contient la Tactique des Escadres & des Armées Navales; Science nécessaire aux Généraux & à tous ceux qui se trouvent chargés de la conduite des Flottes.

UN incident qui ne devoit que contribuer, ce semble, à rendre plus parfait le Traité de la Théorie de la Construction, produisit par un malheur qu'on n'eût pas pû pré-

voir un effet tout contraire. L'Auteur avoit réussi quelques années auparavant à composer un Traité de manœuvre particuliere *, qui conserve encore actuellement presque tout son prix, quoi qu'il soit fondé en partie sur les mêmes principes que celui de M. le Chevalier Renau. Ils avoient l'un & l'autre puisé ces principes dans le P. Pardies, qui s'étoit laissé séduire par des raisonnemens qui n'étoient que plausibles, lorsqu'il avoit tâché le premier, dans son discours sur les forces mouvantes, d'expliquer les particularités des mouvemens des Vaisseaux. On sçait l'histoire de la longue contestation qui s'agita sur cette matiere, dont les pieces se trouvent dans les Journaux des Sçavans & ailleurs. M. Hughens la commença heureusement ; mais sans avoir la satisfaction de l'achever ; & elle ne s'est enfin terminée que de notre tems, lorsque M. Bernoulli a publié son excellent essai d'une nouvelle Théorie de la manœuvre, qui n'a plus laissé lieu à de nouvelles disputes.

* Ce Traité est le dernier du recueil des Traités de Mathématiques, imprimé à Lyon en 1692.

Le P. Hoste, quoiqu'il fût interessé dans cette contestation, n'y prit cependant aucune part. Il étoit tombé dans les mêmes paralogismes que M. Renau ; la conformité n'étoit que trop entiere, malgré ce qu'on a avancé depuis avec une injustice qui n'a pû être commise que par quelqu'un qui ignoroit totalement ces matieres, que M. Bernoulli devoit faire honneur au P. Hoste, des lumieres qu'il en avoit pû tirer. Comme si ce célébre Mathématicien s'étoit trouvé dans le cas d'en emprunter ; ou comme s'il étoit ordinaire lorsqu'on se propose de réfuter un Livre, d'en consulter quelqu'autre qui péche précisement par les mêmes endroits. Nous ne saurions malgré cela en interpretant le silence du Savant Jésuite, assurer s'il se rendit à la force de toutes les raisons de M. Hughens : il est seulement certain qu'il craignit beaucoup trop de s'être

Digitized by Google

trompé ; puiſqu'il aima mieux convenir que les principes qu'il avoit employés étoient erronnés, que de réformer les fauſſes conſéquences qu'il en avoit tirées. Il changea d'avis ſur les loix mêmes que les fluides obſervent dans leur impulſion ; il prétendit que leur action étoit ſimplement proportionelle à leur viteſſe, & au ſinus de l'angle d'incidence que forme leur direction avec la ſurface frapée ; accuſant mal à propos tous les Mathématiciens de commettre un double emploi, lors qu'au lieu de conſiderer ces raports ſimples, ils s'accordent unanimement à en prendre les quarrés. Ces mécomptes, joints à quelques autres, furent une nouvelle ſource de mépriſes dans ſon dernier ouvrage, & nuiſent à la plûpart des diſcuſſions qu'il renferme. La vérité m'oblige encore d'ajouter, malgré les égards qu'on doit avoir pour la mémoire d'un Auteur qui en mérite par tant d'endroits, qu'outre qu'il a obmis l'examen des Problêmes les plus importans, il n'en eſt peut-être pas un ſeul qu'il ait traité dans toute ſa complication.

Il lui eſt arrivé, comme à pluſieurs autres Géométres qui ont quelquefois jetté les yeux ſur des points particuliers de cette matiere, de négliger quelques conditions néceſſaires ou de faire abſtraction de circonſtances eſſentielles. Ils ſont parvenus à la ſolution de nouvelles queſtions qui nous enrichiſſent, il eſt vrai, en augmentant le domaine des Sciences : mais comme ces queſtions ſont trop limitées, & qu'elles ne ſortent pas des termes des vérités purement hypothétiques, elles n'ont réellement aucune application dans la Marine, qui ne ſe ſatisfait pas d'hypothèſes ou de ſimples ſupoſitions. Le même inconvenient n'a que trop lieu dans d'autres cas ; ce n'eſt même que parce qu'il eſt trop ordinaire, qu'on a vû s'introduire

Digitized by Google

cette distinction qui seroit si étrange, si elle étoit bien fondée, qu'une proposition peut être vraye dans la Théorie, & fausse en même tems dans la Pratique. A peine est-il en effet une seule question de celles qui sont mêlées de Physique, qui soit résoluë en toute rigueur, malgré les fréquentes applications qu'on a faites, comme à l'envi, dans ces derniers tems de l'Analyse moderne. On se permet toujours quelques adoucissemens, on écarte quelquefois avec adresse les particularités qui rendroient la discussion trop épineuse; & il ne faut pas s'étonner après cela, si l'expérience ne répond pas à tout ce qu'on s'étoit promis. Mais qu'on ne se dissimule aucune circonstance, qu'on tente de résoudre les Problêmes dans toute leur difficulté; & on verra un continuel accord entre la Théorie & la Pratique; le contraire impliqueroit contradiction.

Il est fâcheux pour nous d'être obligés d'entrer dans ces détails; nous ne le faisons qu'à regret. Car nous ne devons pas avoir moins d'obligation aux grands hommes, qui les premiers entreprennent de défricher le vaste champ des Sciences; quoique par une fatalité qu'il n'est pas toujours possible de vaincre, les matieres compliquées ne se perfectionnent que peu à peu & que par parties. Mais une infinité de trop justes motifs nous imposent la nécessité de de disculper la Spéculation des prétendus torts qu'on lui impute tous les jours. On pousse même souvent l'injustice jusqu'à lui reprocher les tentatives imprudentes faites par des personnes, qui au lieu d'être Géométres, en avoient seulement usurpé le nom. Qu'on dise, si on veut, qu'on n'a pas encore été assez heureux pour tirer des Mathématiques, toutes les lumieres dont on a besoin pour la Marine; différens exemples ne le prouvent que trop; mais qu'on convienne en même tems qu'il n'est pas possible

qu'une ſcience qui eſt toute occupée du ſoin de peſer, de meſurer, & de comparer les grandeurs, ne ſoit de la derniere utilité, pourvû qu'on en ſache faire une application légitime dans un ſujet où il s'agit de regler les unes ſur les autres, un ſi grand nombre de parties, & de mettre l'équilibre entre un ſi grand nombre de différentes forces. C'eſt ce qu'on n'eût pas tardé à éprouver par une heureuſe expérience, ſi on eût travaillé davantage à mettre la Géométrie en crédit; & qu'on ſe fût efforcé en la faiſant ſortir de l'enceinte de ſes ſpéculations, d'en étendre ſérieuſement les uſages.

Aprés ce que j'ai dit du P. Hoſte, on ne doit plus s'étonner ſi malgré ſon habileté, il réuſſit ſi peu dans la conſtruction d'une Frégate dont il ſe chargea, pour juſtifier, s'il ſe pouvoit, ſes nouvelles idées contre M. de Tourville, qui ne ſe contentant pas de ſe déclarer le Protecteur des regles vulgaires, voulut lui-même les mettre en exécution. M. de Tourville aſſez ſatisfait de ſauver l'honneur des pratiques anciennes, & ſe bornant à un ſuccès limité & ordinaire, étoit comme ſûr de l'obtenir: il en avoit pour garant, ce nombre infini de Navires qui ſortent continuellement d'entre les mains des Conſtructeurs. D'ailleurs il pouvoit compter qu'on ne lui refuſeroit aucune eſpece de ſecours; ſon entrepriſe étoit regardée comme une affaire générale, chacun y prenoit interêt. Le P. Hoſte au contraire abandonné à lui ſeul, privé de tout conſeil ou n'en recevant que de très-ſuſpect, ayant contre lui trop de gens qui craignoient, ſi on l'oſe dire, de voir perfectionner leur art; ce Pere obligé en même tems de ſe frayer un chemin tout nouveau, ſans être aidé par aucune tentative précédente, & prévenu enfin, comme nous en ſommes convenus, de principes peu conformes à la vraie Mécanique,

ne pouvoit produire qu'un ouvrage informe à tous égards. Qu'on considere la chose de tous les côtés, ce nouveau genre de dispute lui étoit desavantageux. On fut comme offensé que son Navire fût si plat par dessous & qu'il eût si peu de profondeur ; ce qui le rendoit effectivement sujet à une grande déviation dans les routes obliques & l'exposoit à plusieurs autres inconveniens. Mais aussi on ne se prêta à rien, on n'eut aucune indulgence pour le Constructeur Géométre. On lui refusa même impitoyablement les louanges les plus dûës à son zele & à la hardiesse de son dessein ; bien loin de reconnoître qu'il y avoit plus de vraie gloire à échouer comme il le faisoit, qu'à réussir comme son concurrent. On célébra beaucoup trop la victoire de ce dernier, on la fit sonner très-haut ; quoiqu'elle fût d'autant plus foible, que M. le Maréchal de de Tourville, fameux par des triomphes plus réels & d'un autre genre, ne pouvoit rien s'attribuer des succès de celui-ci. Le Lecteur juge cependant assez, vû toutes les circonstances, qu'il n'étoit pas possible que les pratiques ordinaires, qu'on croyoit si bien vangées, n'en parussent mieux établies. Il devint si peu permis d'y rien changer, que la moindre innovation qu'on eût voulu y introduire, eût été reputée téméraire ou dangereuse ; l'expérience, quoiqu'elle ne prouvât rien, avoit pleinement décidé.

La construction restant de cette sorte dans le même état, se trouva renfermée dans ses pratiques grossieres, & a outre cela été traitée d'une maniere extrémement imparfaite dans quelques Ecrits que nous en avons. Soit défiance de la part des Constructeurs, ou dessein formé de tenir leurs maximes secretes pour s'en prévaloir contre leurs concurrens, ils déclarent bien les principales dimensions qu'ils donnent à leurs Vaisseaux ; mais nous n'avons aucun Li-

vre qui entre dans le détail de la figure qu'on leur donne actuellement, si on excepte un seul Manuscrit dont nous avons eu occasion de parler, qui n'est qu'une simple ébauche, mais dont les copies se sont assez repanduës dans la Marine. M. de Pulmi, Auteur de cet Ouvrage, pouvoit faire de grands progrès, si sa santé le lui eût permis : car il étoit parfaitement instruit de toutes les pratiques des Constructeurs; il pouvoit y porter le flambeau de la Géométrie nouvelle dans laquelle il étoit initié; & la Cour n'avoit pas tardé à l'y encourager, en le prévenant par ses bienfaits.

On sent comme nous, combien ce silence des gens du métier est nuisible : on voit assez qu'il empêche de profiter des connoissances de fait qu'ils ont au moins dû acquerir par leur long usage. Ils disputent volontiers & avec chaleur sur des choses de peu de conséquence; pendant que l'essentiel de la Construction reste enseveli sous d'épaisses ténébres : au lieu que si chacun communiquoit ce que lui a apris l'expérience; si on se faisoit réciproquement part de ses observations, comme on le fait dans toutes les autres matieres, où l'on s'enrichit mutuellement des vûës les uns des autres, on ne tarderoit pas à éprouver le fruit considérable qui naîtroit de cette heureuse communication. Les Constructeurs au contraire, comme s'ils étoient plus touchés de leurs intérêts personnels, que de la perfection de leur art, sont continuellement sur leur garde de crainte qu'on ne les pénétre : ils observent même un secret si profond, que leurs pratiques particulieres, quoiqu'elles ne soient toujours que quelques legeres modifications des maximes générales, constituent comme un héritage tout extraordinaire, qui ne se transmet presque jamais que de pere en fils. Il faut cependant l'avouer encore;

core ; le grand mal vient moins du mistere qu'on a fait mal à propos des préceptes de cet art, que de leur limitation ou de leur imperfection ; & c'est peut-être ce qu'ont assez senti les Constructeurs, pour qu'une mauvaise honte ou la crainte de se déceler en nous laissant voir leur extrême indigence, les porte à user d'une continuelle reserve à notre égard.

Il suffit de fréquenter les Ports de Mer, ou de s'informer de ce qui se passe à ce sujet chez toutes les Nations qui cultivent la Marine, pour s'assurer que nous ne sommes pas coupables de l'exagération la plus legere. On verra qu'on défere tous les jours dans des circonstances très-importantes au simple tatonnement, à celui qui est le plus sujet à tromper : on change la forme des Navires par leurs hauts, on leur ajoute un nouveau pont ou on le retranche, on altere aussi totalement la figure de leur carène, & on consent à faire tous ces changemens sans sçavoir quel en sera l'effet immédiat, ou celui qui doit se manifester dans le Port même ; pendant qu'on pourroit se déterminer d'une maniere aussi précise qu'infaillible, en employant les moindres connoissances de Géométrie & les plus simples opérations d'Arithmétique. Il ne faut pas douter que la Postérité ne s'étonne un jour de la conduite qu'on a tenuë & qu'on tient encore à cet égard, dans un siecle aussi éclairé que le nôtre.

D'AUTRES fois on veut faire prévaloir une certaine qualité dans la construction ; on observe pour cela avec plus de rigueur les maximes les plus généralement approuvées ; & on produit un effet tout contraire à celui qu'on se proposoit. Démonstration incontestable, que le grand nombre de circonstances dont ce sujet est surchargé, est cause qu'on ne sçait de laquelle dépend le bon ou le mauvais

épreuves témeraires. Il aime beaucoup mieux ne se proposer qu'une certaine sorte de succès, & en être sûr, en prenant le parti que lui dicte, non pas la timidité, mais plûtôt la prudence, de suivre d'une façon servile les sentiers uniques qu'il voit déja frayés.

Il faut enfin convenir avec le P. Hoste, que la Pratique livrée à elle seule & dénuée de tous les secours de la Théorie, ne peut pas faire découvrir les vraies regles en un pareil sujet. Le Navire est un tout si composé, que chaque changement fait à une seule partie, est le commencement d'une infinité de dispositions ou de combinaisons différentes, dont chacune doit avoir un succès particulier. On ne peut, par exemple, toucher à la largeur de la carène sans se mettre dans la nécessité de changer toutes les autres parties. C'est par cette raison que les expériences qu'on a pû se permettre, sont souvent si contraires, qu'il semble qu'on n'en peut tirer aucune conséquence, ou qu'on en peut inférer de tout opposées. Un changement seroit avantageux, & il ne produit cependant que des effets funestes; parce qu'on ne va pas saisir dans la multitude tous les autres changemens qu'il exigeroit, ou qui en sont comme des suites. On condamne la premiere disposition, on croit avoir expérimenté qu'elle est dangéreuse: au lieu qu'il est seulement vrai qu'on n'a pas sçû en tirer parti; faute d'avoir mis entre toutes les autres mesures la correspondance nécessaire.

Si l'expérience ou la Pratique seule avoit pû réussir sur quelque point, c'étoit en reglant les dimensions de la mâture, lors qu'un Vaisseau est *donné*. Il est certain qu'il ne se présente pas de question plus simple dans toute cette matiere: car que le Vaisseau soit bien ou mal construit, qu'il soit destiné à être bon ou mauvais voilier, il est tou-

jours une certaine diſpoſirion de mâture qui doit être la meilleure ou la moins mauvaiſe ; & il eſt clair qu'on écarte les plus grandes difficultés de la recherche, auſſi-tôt qu'on ne ſe propoſe pas de toucher au Navire, & que ſa forme eſt déja déterminée. Mais ſi on a manqué juſqu'à préſent dans la Marine, ce Problême, quoique plus facile ; ſi on s'eſt trompé, & même d'une maniere groſſiere, ſur le raport qu'il doit y avoir entre la hauteur des mâts & la grandeur du Navire, que ne faut-il pas penſer de toutes les autres parties de la conſtruction, qui ne pourroient ſe regler que par des tentatives faites avec infiniment plus d'art ? La difficulté eſt incomparablement plus grande, lors qu'une infinité de différentes diſpoſitions ſe combinent réellement avec une infinité d'autres, & qu'il faudroit les examiner toutes. Pour chaque diſtribution de la charge il eſt une certaine diſpoſition de la mâture qui eſt la meilleure ; mais il faut ſçavoir auſſi qu'elle eſt la meilleure diſpoſition de la charge & ſa quantité. Ainſi après avoir donné un certain arrangement au leſt & à tout ce qui augmente le poids, il ne ſuffiroit pas d'envoyer le Navire une infinité de fois en Mer avec des mâtures différentes, il faudroit répeter encore la même choſe une infinité d'autres fois, en donnant d'autres diſpoſitions à la charge. Enfin ce ne ſeroit point aſſez ; puiſque chaque partie du Vaiſſeau contribuë à la perfection du tout, non-ſeulement la mâture, non-ſeulement la charge, non-ſeulement les principales dimenſions de la carène, mais auſſi toute ſa figure, la courbure de ſes flancs, la ſaillie de ſa prouë. Et nous le répétons encore, que la perfection dont doit jouir chacune de ces parties, dépend de la relation qu'elle a avec toutes les autres dont la multitude eſt infinie, & qui doivent être chacune à part également parfaites. Diſcuſſion qui enga-

geroit réellement, comme on le voit, dans un nombre d'essais, non pas simplement infini, mais infiniment infini.

Il est donc certain que quoique la Pratique soit d'une extrême nécessité & qu'on ne puisse trop la recommander, elle est cependant d'un usage trop peu étendu, lors qu'on la laisse à elle seule dans la circonstance présente. Sa trop grande limitation est un vice inséparable de sa nature, & qui se fait sentir dans une infinité d'autres rencontres. C'est qu'elle est originairement stérile, c'est qu'elle ne fournit lorsqu'elle est absolument seule, que des connoissances qui n'en produisent point d'autres, ou qui restent toujours renfermées dans les premieres bornes qu'on leur a données. Comme le Praticien, si on peut s'exprimer de la sorte, ne s'instruit qu'à mesure qu'il se trouve placé dans de nouvelles circonstances, il ne faut rien moins qu'un nouvel évenement pour lui procurer quelque degré de connoissance de plus. Il verra l'effet de diverses manœuvres, il éprouvera combien l'action d'une puissance est quelquefois multipliée : mais bien loin de pouvoir résoudre les grands Problêmes que nous venons d'indiquer, il ne sera pas même en état de prononcer avec certitude à l'égard des cas plus simples sur lesquels ses essais ne l'auront pas également instruit. Il ne lui sera pas possible d'avancer un pas de plus, faute de sçavoir ou même de soupçonner que toutes ces actions sont soumises à certaines loix qu'il seroit important de connoître. Qu'on fasse intervenir au contraire les lumieres de la Spéculation ; il est vrai, & on ne sçauroit le dire trop de fois, qu'il faudra toujours y joindre les expériences ou ces connoissances de fait dans lesquelles consiste la Pratique ; mais la Théorie s'en servira ensuite comme de principes, elle en tirera des inductions sûres ; & étendant ses vûës à tous les autres

cas, & jusqu'à l'infini, car elle n'est pas arrêtée par les mêmes bornes que la Pratique, elle tiendra effectivement lieu d'une infinité d'autres expériences qu'il n'eût jamais été possible d'exécuter.

On peut juger sur cet exposé de l'état où étoit il y a quelques années l'Architecture navale; mais depuis on s'est ouvert de nouveaux chemins. Plusieurs Constructeurs que nous pourrions nommer, se sont acquis une grande réputation, & si nous en avions un plus grand nombre, la face des choses seroit absolument différente. Je n'indiquerai pas tout ce qu'ils ont fait pour la perfection de leur Art; il suffit pour justifier ce que j'avance, de citer un seul point, l'avantage qu'ils ont découvert dans l'allongement de leurs Vaisseaux. Une seule circonstance manquée, pouvoit, en empêchant le succès, faire prendre le change comme il étoit arrivé une infinité d'autres fois: mais j'ai sçû qu'on se conformoit à Brest à cette nouvelle observation sous les yeux de M. Ollivier, habile Ingénieur, à peu près dans le même tems qu'au-delà des Mers, & dans un des endroits de la Terre le plus reculé, les Principes théoriques & féconds que je suivois me conduisoient par d'autres routes à cette même remarque. Nous avons obligation de tous ces heureux changemens aux vûës sublimes du Ministre éclairé qui a dans son département la Marine, & qui décidé par le goût qu'il a pour toutes les Sciences, s'en est déclaré le Protecteur. Il a excité les Constructeurs par le plus puissant de tous les motifs; il a mis en honneur leur Profession: & il est certain qu'elle mérite d'en être comblée, aussi-tôt qu'ils l'exerceront avec connoissance de cause; aussi-tôt que supérieurs à leur métier, ils substitueront à leurs pratiques imparfaites des regles lumineuses & précises; aussi-tôt qu'ils ne produiront plus de Plan sans

l'appuyer de calculs justificatifs, dans lesquels chaque propriété que doit avoir le Navire sera discutée & évaluée avec exactitude ; aussi-tôt enfin que la Géométrie & la Physique, prenant la place qu'avoit usurpé le hazard ou le tatonnement, l'Architecture navale fondée sur des principes certains, sera réellement un Art.

Je m'applaudirois beaucoup si ce Traité pouvoit contribuer à un objet si important & si utile. Je n'ai épargné aucune peine pour tâcher de répondre à l'engagement que je prenois, lorsque je me suis déterminé à appliquer à cette matiere le peu que je sçai de Mathématiques. Ce n'est aussi qu'après m'en être occupé très-long-tems que je me suis hazardé de jetter mes remarques sur le papier ; & je ne l'ai fait au Pérou, comme je l'ai dit ailleurs, qu'afin de mieux profiter de l'occasion que je devois avoir ensuite en Mer pendant mon retour, de reconnoître s'il y avoit quelque chose à y changer. C'est en travaillant à ce Livre sur les plus hautes montagnes du Monde que je tâchois de ne pas perdre les semaines & les mois par lesquels il falloit quelquefois acheter un seul instant de beau tems, pour pouvoir vaquer aux opérations actuelles de la mesure de la Terre. Le Livre étoit entierement achevé : il y a même plus de quatre ou cinq ans, comme je l'écrivis alors en France, que me voyant tous les jours à la veille de mon départ de Quito, j'en déposai une copie entre les mains d'une personne sûre, pour servir de duplicata. Enfin j'ai consideré que si mon travail devoit avoir quelque fruit, je ne pouvois trop me hâter de le rendre public, & j'ai cru qu'il étoit bon de le faire précéder la Relation de mon voyage ; ce qui me donneroit en même tems plus de loisir pour mettre en ordre tous les matériaux qui doivent y entrer. Si le Traité que je présente actuellement

forme

forme un affez gros volume, c'eft que le fujet eft extrêmement vafte; le Navire confideré dans tous fes différens états, & par raport à tous fes divers ufages. Ce n'eft pas affez de fe le repréfenter lorfque chargé d'un poids énorme il eft à l'ancre dans une Rade, & expofé, fi on le veut, à l'agitation d'une Mer orageufe, il faut principalement l'examiner lorfqu'il fait route, qu'il fingle avec viteffe, qu'il double un Cap, qu'il s'éloigne difficilement d'une côte. Cette diftinction feroit naturellement le partage de notre Ouvrage; fi ce n'eft que nous avons crû devoir ajouter un premier Livre, qui eft à certains égards l'extrait des deux autres qu'il précéde, & dans lequel nous nous fommes attachés à faire entrer beaucoup de chofes de Pratique.

Je ne diffimulerai pas, puifque je puis le dire fur la foy des démonftrations, que je crois avoir réuffi à donner des moyens infaillibles pour fe décider entre différens Plans propofés pour le même Navire. On fçaura déformais fe déterminer fûrement entre les divers avis des Conftructeurs; & la multitude de leurs opinions bien loin d'être nuifible, fera au contraire profitable, puifqu'elle donnera fouvent lieu de faire un meilleur choix. J'ai pour ainfi dire, réduit le tout à la mefure ou à la balance, je l'ai rendu une affaire de *calcul*: mais je ne me fuis pas renfermé dans ce feul examen qui feroit quelquefois trop limité; j'ai tâché de m'élever jufqu'à la confidération de toutes les formes poffibles de Navires, & de choifir dans cette multitude, quoique infinie. Ainfi un des moindres avantages que pourra avoir mon travail, fi je ne me flate point trop, c'eft qu'il ne tiendra qu'au Conftructeur de ne plus manquer fon ouvrage de cette maniere dangéreufe qui en caufant fa ruine, entraînoit auffi celle du Public: il ne fera plus expofé à la peine & à la honte de rien tenter té-

merairement, il ſera toujours en état d'aſſigner ou de prévoir tout le ſuccès que doit avoir ſon entrepriſe : & on ſera auſſi toujours à portée en vérifiant ſes ſuputations, de voir le fonds qu'on peut faire ſur ſes promeſſes. Au ſurplus, le déſir ſincere que j'ai de ne commettre d'injuſtice à l'égard de perſonne, me fait avouer que j'ai ſouvent été aidé par les ſolutions, même imparfaites, qu'on trouve dans divers écrits qui ont raport à ce ſujet ; ſans compter que quelquefois elles ont été accompagnées de vûës excellentes. Mais j'aurois tort de confondre avec ces divers ſecours ceux que m'a pû fournir la piece ſur la mâture des Vaiſſeaux d'un de nos Académiciens * qui n'avoit point vû de Navire lorſqu'il l'écrivoit, & qui a réuſſi neanmoins à nous donner un ouvrage plein de recherches, & très-différent de beaucoup d'autres qui paroiſſent de tems en tems ſur les matieres de Marine.

* M. Camus.

Il ne reſte plus qu'à dire un mot ſur la plus grande difficulté qu'on trouvera à appliquer les nouvelles maximes que nous ſubſtituons aux anciennes. Les Conſtructeurs pour établir celles-ci, s'étoient contentés d'employer les raports les plus ſimples & des raports invariables, s'imaginant mal-à-propos que les parties des Vaiſſeaux de différentes grandeurs, ſuivoient toujours exactement les mêmes proportions ; ou plutôt ne portant par leur vûë aſſez loin pour découvrir d'autres relations, & s'arrêtant à ce qui s'offroit à eux ſans la peine d'aucune recherche. On juge aſſez que toutes les fois que le rapport ſimple ne doit pas ſubſiſter, ou qu'au lieu de faire croître certaines parties proportionnellement, on doit les faire changer ſelon quelqu'autre loi, les nouvelles regles ne peuvent manquer de ſe trouver plus difficiles : & il pourra même arriver que toute perſonne ne ſoit pas en état de les appliquer. Il y a ſans doute

Digitized by Google

moins de notre faute en cela, que si écrivant sur l'Architecture militaire, nous ne réussissions pas à nous mettre à la portée des Lecteurs qui n'ont aucun principe de Géométrie. Mais cet inconvenient n'en est plus, aussi-tôt que la construction des Vaisseaux cesse d'être abandonnée à la direction des seuls Ouvriers, & qu'on leur associe dans leur ouvrage des personnes qui sont incomparablement plus instruites. Nous avons d'ailleurs toujours fait ensorte en déduisant nos maximes, qu'on ne fût point obligé en les observant, d'entrer dans les discussions longues & épineuses qui leur servent de fondement. Ainsi il faut bien distinguer ici en fait de difficulté, entre l'application de nos regles & les examens penibles dans lesquels elles nous ont engagés, ou pour les vérifier, ou pour les découvrir.

Nous eussions souhaité pouvoir éviter même dans cette seconde espece de travail tout usage des calculs algébriques, qui sont presque toujours trop rebutans par l'espece d'obscurité qui en est comme inséparable. Le Lecteur jugera, après avoir murement pesé la chose, si on ne s'est pas trouvé ici plus d'une fois dans le cas où il étoit comme indispensable d'y avoir recours. On peut blâmer ceux d'entre les Géométres qui employent quelquefois ce secours pour démontrer des vérités si peu reculées, qu'elles sont à leurs pieds & qu'ils y touchent : on n'est point excusable de se servir sans nécessité d'un grand appareil d'instrumens ou de machines pour n'opérer que des choses faciles. L'Algébre alors avilie par le mauvais usage qu'on en fait, au lieu d'être de tous les moyens le plus propre à supléer à la limitation de nos facultés, n'est plus que celui d'embrouiller les matieres & d'en interdire l'entrée à plusieurs Lecteurs qui seroient capables de les entendre, si

elles n'étoient pas énoncées pour eux dans une langue étrangere. Nous avons quelques Livres qui donnent vogue à cet abus par la réputation de leur Auteur : on est réduit à n'y voir la vérité que sous le voile d'énigmes, quoiqu'il s'agisse quelquefois de matieres connuës d'ailleurs & déja traitées avec clarté ; & on est allé jusqu'à vouloir, en troublant l'ordre des choses, nous faire préférer cet emploi des symboles aux connoissances qui naissent du fond même du sujet. Mais de même qu'il n'est pas possible de se passer des lumieres de la Géométrie élementaire dans une infinité de cas, il est encore plus nécessaire dans d'autres rencontres, lorsque la nature des Problêmes l'exige, de recourir à la haute Géométrie ; malgré ce que disent quelques personnes qui paroissent s'être conjurées contre cette Science supérieure, & qui cherchent, peut-être, à se consoler du peu de progrès qu'elles y ont fait. Comment comparer en effet un grand nombre de quantités ou de conditions qui ne peuvent être représentées que par des courbes d'un genre fort élevé, ou par des équations formées d'un grand nombre de termes? Vouloir se priver alors du secours nécessaire de l'Algébre, c'est comme si l'on entreprenoit, sans Rame, sans Voile, & même sans Radeau, de franchir à la nage une vaste Mer. Il suffit enfin pour nous disculper entierement, d'avouer que nous n'avons pas pû faire mieux : quant à l'ordre particulier que nous avons suivi, la Table des Chapitres l'indiquera assez exactement.

Fin de la Préface.

Digitized by Google

TABLE DES CHAPITRES
CONTENUS DANS CE TRAITÉ.

LIVRE PREMIER.

Idée générale de la Construction, avec diverses remarques sur les regles ordinaires.

PREMIERE SECTION.

Où l'on traite de la figure du Vaisseau & de ses parties intérieures.

CHAPITRE I. *DEs différentes especes de Navires*, page 4
CHAP. II. *Des principales parties du Vaisseau; & leurs proportions selon les regles ordinaires*, 12
CHAP. III. *Suite du Chapitre précédent, dans laquelle on continuë à expliquer les noms & les proportions des principales parties du Vaisseau*, 18
CHAP. IV. *Des différentes pratiques que suivent les Constructeurs pour tracer la coupe des Vaisseaux, faite perpendiculairement à leur longueur dans l'endroit le plus gros*, 27
Premiere & seconde méthode, 28 & 29
Troisiéme méthode, *pour les Navires à plates varangues*, 31
Quatriéme méthode, *pour les Navires ausquels on veut donner beaucoup de* façons, 32
CHAP. V. *Méthode de tracer les deux coupes du Vaisseau aux deux extrémités de la quille; avec la maniere ancienne dont on se servoit des lisses pour achever le Navire*, 34
De la figure de la coupe de l'arriere, ibid.
De la figure de la coupe de l'avant, 36

Digitized by Google

CHAP. VI. *Remarques générales sur les lisses, avec le moyen de former l'arriere du Vaisseau, en rendant toutes les coupes verticales faites perpendiculairement à sa longueur, dépendantes de la premiere & de celle de l'extrémité,* page 40
CHAP. VII. *De la maniere de former toute la partie de l'avant du Navire,* 46
CHAP. VIII. *Faire ensorte que la courbure entiere des lisses depuis la premiere coupe jusqu'à l'etrave appartienne à la même ligne courbe,* 51
CHAP. IX. *De la maniere de projetter les diverses coupes du Navire sur toutes sortes de Plans,* 56
CHAP. X. *Remarques sur la forme que les regles ordinaires donnent aux Vaisseaux,* 58
CHAP. XI. *Suite du Chapitre précédent; avec la maniere de rendre la figure des Vaisseaux plus parfaite,* 64
CHAP. XII. *De la maniere de mettre les Navires à l'eau,* 73
De la courbure que les Vaisseaux souffrent dans le sens de leur longueur, lorsqu'on les lance à la Mer, 77

SECONDE SECTION.

Des agreils ou apparaux du Navire.

CHAPITRE I. D*U gouvernail & du cabestan,* 80
CHAP. II. *De la nécessité d'avoir des pompes dans les Vaisseaux & de la maniere de les disposer,* 86
CHAP. III. *Des ancres & des cables,* 95
CHAP. IV. *De la maniere dont les rames agissent,* 103
CHAP. V. *Des proportions qu'on suit ordinairement dans la mâture des Vaisseaux,* 120
Proportions des mâts inférieurs, & de leur application, 122
Proportions des mâts supérieurs, 124
Proportions des vergues, 124
De la figure qu'on donne aux mâts & aux vergues, 126

CHAP. VI. *Remarques & expériences sur les regles précédentes, avec le moyen de rendre ces regles moins imparfaites,* 127

CHAP. VII. *Des principaux cordages qui soutiennent la mâture & qui servent à la manœuvre des voiles,* 138

Maniere de former une échelle pour trouver sur la même figure la longueur des manœuvres pour tous les Vaisseaux, 143

TROISIE'ME SECTION.

De la résistance ou de la force dont toutes les parties du Vaisseau doivent être capables.

CHAPITRE I. *DE la résistance absoluë des matériaux qui entrent dans la construction,* 147

CHAP. II. *Des divers moyens qu'on peut employer pour empêcher les Vaisseaux de s'arquer,* 151

CHAP. III. *Où l'on examine si les moyens indiqués dans le Chapitre précédent sont suffisans, pour empêcher le Navire de s'arquer,* 155

CHAP. IV. *De la résistance relative des corps solides & de la force qu'il faut donner à diverses parties du Navire,* 161

CHAP. V. *De la figure & de la grosseur que doivent avoir les mâts & les vergues,* 171

CHAP. VI. *De la résistance des cordages & de la maniere de les rendre plus forts,* 186

CHAP. VII. *De la force que doivent avoir différentes manœuvres,* 191

LIVRE SECOND.

Du Vaisseau considéré à flot, mais lorsqu'il ne single pas.

PREMIERE SECTION.

De la pesanteur du Vaisseau & de la force qu'à l'eau pour le soutenir.

CHAPITRE I. DE la force qu'à l'eau pour soutenir le Navire en le poussant en haut selon une direction exactement verticale, page 199
CHAP. II. *Trouver la force avec laquelle l'eau pousse le Navire en haut,* 206
Premiere méthode *de mesurer la solidité de la carène, en la considérant comme un ellipsoïde,* ibid.
Seconde méthode *de mesurer la carène en la divisant en plusieurs prismes,* 208
Troisiéme méthode *de mesurer la carène en la partageant simplement par tranches,* 212
De l'échelle *des solidités ou des pesanteurs des diverses parties de la carène,* 215
CHAP. III. *Du changement que reçoit l'enfoncement de la carène lorsqu'on ajoute au Navire quelque partie ou qu'on la retranche,* 217
CHAP. IV. *Du Jaugeage des Vaisseaux, & premierement de celui qui se fait en tonneaux d'arrimage ou de volume,* 225
Trouver la grandeur des Vaisseaux en tonneaux d'arrimage, 227
Maniere de regler le droit d'ancrage, & les autres droits de même espece, 231
CHAP. V. *Du jaugeage des Vaisseaux en tonneaux de poids,* 234
CHAP. VI. *Suite du Chapitre précédent : méthode de trouver la pesanteur de la charge, en mesurant la partie de la carene qu'elle*

qu'elle fait plonger dans la Mer, page 240

SECONDE SECTION.

De la distribution de la pesanteur du Vaisseau & de la position qu'on doit donner au centre dans lequel se réunit cette pesanteur.

CHAPITRE I. *Méthode de trouver le centre de gravité de la carène, dans lequel se réunit la poussée verticale de l'eau,* 249
CHAP. II. *De la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre le centre de gravité du Vaisseau,* 254
CHAP. III. *Méthode de déterminer le métacentre ou le terme de la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre le centre de gravité du Vaisseau,* 258
CHAP. IV. *Application des formules précédentes à quelques figures, & premierement au Navire formé en parallelipipede rectangle,* 265
Déterminer le métacentre, lorsque toutes les coupes de la carène faites perpendiculairement à sa longueur, sont des triangles, 266
Trouver le métacentre, lorsque le Navire est un ellipsoïde, 267
CHAP. V. *Recherches plus étendues sur les métacentre & sur la ligne courbe que forment ces points, lorsque le Navire s'incline,* 269
CHAP. VI. *Reconnoître si dans les Vaisseaux qu'on se propose de construire, le centre de gravité sera effectivement au-dessous du métacentre ou du terme qu'on vient de déterminer,* 275
De la pesanteur de toutes les parties de la Frégate du Roy, nommée la Gazelle, 276
Détermination du centre de gravité de la même Frégate, 280
De la situation du centre de gravité dans les grands & dans les petits Navires, & de la sureté qu'en reçoit la navigation, 283
CHAP. VII. *Du changement qu'aportent à la situation du mé-*

Digitized by Google

tacentre les divers changemens qu'on peut faire à la carène, page 287

CHAP. VIII. *Des changemens que reçoit la force qu'à le Navire pour rester de niveau, lorsqu'on change sa longueur*, 292

Du changement que reçoit la stabilité des corps flotans, lorsqu'on change leur profondeur, 294

Du changement que reçoit la stabilité des corps flotans, lorsqu'on change leur largeur, 298

Du changement que reçoit la stabilité du Vaisseau lorsqu'on se sert de lest d'une pesanteur spécifique différente, 301

CHAP. IX. *Examen plus particulier du changement que reçoit la stabilité du Navire, lorsqu'on ajoute à sa carène ou qu'on en retranche quelque partie par en bas*, 302

CHAP. X. *Déterminer la moindre profondeur qu'on peut donner à la carène des Vaisseaux qui sont très-changés par en haut, pour que leur centre de gravité soit effectivement au-dessous du métacentre*, 310

Solution analytique, 312

Construction géométrique du même Problême, 316

CHAP. XI. *Trouver par une expérience très-simple dans les Vaisseaux déja construits, si le centre de gravité a la situation qu'on se proposoit de lui donner*, 319

TROISIE'ME SECTION.

De la distribution de la pesanteur du Vaisseau par raport au mouvement du roulis.

CHAPITRE I. D*U point autour duquel le Vaisseau fait les balancemens qu'on nomme roulis, & de la part qu'a la pesanteur dans ces balancemens*, 325

CHAP. II. *Connoissant la figure du Vaissevu & la distribution de ses parties, trouver la durée de ses oscillations ou de ses balancemens dans le roulis*, 333

CHAP. III. *Trouver le changement que doit aporter aux balan-*

cemens du roulis la transposition de quelques parties dans le Vaisseau, avec quelques remarques sur le tangage, 339

LIVRE TROISIE'ME.

Du Vaisseau consideré en mouvement.

PREMIERE SECTION.

Où l'on examine les loix que les fluides observent dans leur choc ; le vent en frapant les voiles, & l'eau en rencontrant la partie antérieure de la carène.

CHAPITRE I. *De la maniere dont l'impulsion du vent sur la voile & le choc de l'eau sur la prouë, contribuent au sillage du Navire,* page 349

CHAP. II. *De la mesure des chocs absolus de l'eau & du vent,* 354

Description d'un Instrument pour mesurer la force du vent, 359

CHAP. III. *De l'impulsion des fluides sur différentes figures & premierement sur une prouë formée de deux lignes droites,* 363

De l'impulsion de l'eau sur une prouë formée par un demi-cercle, 364

De l'impulsion que reçoit une parabole, 367

CHAP. IV. *Methode générale de trouver les impulsions des fluides sur les lignes courbes, avec quelques remarques sur ces impulsions,* 369

De l'impulsion dans le sens de l'axe, 370

De l'impulsion dans le sens latéral ou dans le sens perpendiculaire à l'axe, 376

CHAP. V. *De l'impulsion des fluides sur les surfaces courbes,* 378

De l'impulsion que souffre une prouë conique, ibid.

De l'impulsion que souffre une prouë conoïdale formée par la révolution d'un arc de cercle, 381

CHAP. VI. *Méthode de trouver l'impulsion que souffrent les surfaces courbes, en les partageant en plusieurs parties sensi-*

Digitized by Google

blement planes, page 387
NOTE, *dans laquelle on répond à quelques difficultés sur la longueur de cette méthode, &c.* ibid.
Trouver l'impulsion de l'eau dans la route directe sur une prouë dont on a le plan, 388
Trouver l'impulsiou dans les routes obliques, 391
CHAP. VII. *Remarques sur les changemens que reçoivent les impulsions que souffrent les surfaces courbes, lorsque le fluide change de direction,* 397
CHAP. VIII. *Suite du Chapitre précédent, dans laquelle on examine les changemens particuliers que souffre l'impulsion latérale, lorsque le fluide change de direction,* 409

SECONDE SECTION.

Où l'on tente la solution générale des principaux Problêmes de Manœuvre.

CHAPITRE I. DE *la vitesse que prend le Vaisseau par raport à celle du vent,* page 417
CHAP. II. *Du changement que le mouvement des surfaces produit au choc qu'elles reçoivent,* 423
CHAP. III. *Suite du Chapitre précédent. Des changemens que le mouvement du Vaisseau apporte dans la force & dans la direction apparente du vent,* 428
CHAP. IV. *De la relation qu'il y a entre la dérive des Vaisseaux & la situation de leurs voiles,* 434
TABLE *générale des angles de dérive des divers Vaisseaux, pour tous les divers angles que fait la voile avec la quille,* 438
CHAP. V. *Des differentes vitesses que prend le Vaisseau dans les routes obliques,* 440
CHAP. VI. *De la construction des Tables des vitesses,* 453
CHAP. VII. *De la disposition la plus avantageuse des voiles & du Vaisseau par raport au vent, pour suivre une route proposée, pour gagner au vent, &c.* 459

Digitized by Google

CHAP. VIII. *Construction des Problêmes proposés dans le Chapitre précédent*, 467

TROISIE'ME SECTION.

Du Vaisseau consideré par raport à la proprieté qu'il doit avoir de bien gouverner, tant par le moyen du gouvernail que par le moyen des voiles

CHAPITRE I. *De la situation des mâts, de leur nombre, & de l'équilibre qu'il doit y avoir entre les voiles de la prouë & de la poupe*, 473

CHAP. II. *De la figure qu'il faudroit donner aux Vaisseaux pour qu'ils gouvernassent parfaitement bien par le moyen des voiles*, 480

CHAP. III. *De l'endroit où le Vaisseau doit avoir sa plus grande largeur, pour être plus sensible à l'effet du gouvernail*, 488

CHAP. IV. *Méthode de reconnoître si un Vaisseau qu'on se propose de construire, gouvernera avec facilité ; ou examen du mouvement que doit prendre un corps que deux puissances tendent à faire tourner en même tems de deux differens côtés*, 497

CHAP. V. *Suite du Chapitre précédent ; usage des principes établis ci-devant pour déterminer la quantité du mouvement de conversion que prend un corps exposé à l'action de plusieurs puissances*, 502

QUATRIE'ME SECTION.

Où l'on examine le Vaiſſeau par raport à la qualité qu'il doit avoir de bien porter la voile ou de recevoir une voilure avantageuſe.

CHAPITRE I. *De l'effort mutuel vertical que forment enſemble les impulſions du vent ſur les voiles & de l'eau ſur la prouë,* page 509

CHAP. II. *Des différentes ſituations que l'effort mutuel vertical des chocs du vent ſur les voiles & de l'eau ſur la prouë, fait prendre au Navire; & des conditions de la mâture parfaite,* 514

NOTE dans laquelle on repond à l'extrait de deux Lettres anonymes publié par M. Saverien. 515

CHAP. III. *Principe général pour déterminer la plus grande hauteur qu'on peut donner ſans riſque à la mâture; avec quelques remarques ſur la force qu'ont les Vaiſſeaux de divers rangs pour porter la voile,* 521

CHAP. IV. *Suite du Chapitre précédent; déterminer la limite de la plus haute mâture, & application de cette regle à quelques Navires,* 528

Application du Problême précédent à un Vaiſſeau du premier rang, 531

Application du même Problême à la Frégate la Gazelle, 534

CHAP. V. *Dans lequel après avoir repondu à quelques objections, on examine laquelle des dimenſions des voiles on doit s'attacher à augmenter, & s'il eſt à propos que les différens mâts d'un Navire ſoient de différentes hauteurs,* 535

CHAP. VI. *Un Navire étant donné ou déja conſtruit, déterminer la mâture la plus avantageuſe qu'il peut recevoir, lorſqu'on a la liberté de le faire enfoncer plus ou moins dans l'eau,* 540

CHAP. VII. *De la forme que doivent avoir les Vaiſſeaux dans le ſens de leur groſſeur, pour mieux porter la voile & aller plus vite,* 551

CHAP. VIII. *De la grosseur qu'il faut donner aux Vaisseaux par raport à leur longueur, pour qu'ils portent mieux la voile, avec le moyen d'augmenter extraordinairement la vitesse de leur sillage,* 561

CINQUIE'ME SECTION.

Du Navire consideré par raport à la rapidité de son sillage & à la proprieté qu'il doit avoir de dériver peu dans les routes obliques.

CHAPITRE I. E*Xamen des figures les plus simples qui reçoivent le moins d'impulsion qu'il est possible de la part des milieux dans lesquelles elles se meuvent,* page 572

TABLE *des dimensions de la prouë angulaire & rectiligne dans le sens horisontal, laquelle éprouve la moindre résistance de la part de l'eau,* 579

CHAP. II. *De la prouë en conoïde qui fend l'eau avec le plus de facilité qu'il est possible,* 580

TABLE *des dimensions de la prouë conoïdale qui fend l'eau avec le plus de facilité,* 581

TABLE *des dimensions d'un nouveau conoïde qui doit éprouver peu de résistance en traversant les milieux,* 586

TABLE *des dimensions de deux prouës conoïdales qui n'éprouvent la moindre résistance de la part de l'eau, que lorsquelles ne sont pas entierement sumergées,* 588

CHAP. III. *Une base étant donnée, trouver la figure du solide dont il faut la couvrir, pour que l'impulsion qu'elle souffre en traversant un fluide, soit la moindre qu'il est possible,* 589

CHAP. IV. *De la formation de plusieurs autres prouës qui éprouvent la moindre résistance possible en fendant l'eau,* 599

CHAP. V. *De la prouë de la plus grande vitesse ou de celle qui rend le Vaisseau le plus capable de porter la voile, en même tems qu'elle fend l'eau avec plus de facilité,* 612

CHAP. VI. *Détermination de la figure de la prouë de la plus*

grande vitesse, lorsqu'elle est terminée par un simple trait horisontal, page 624
Table *des dimensions des prouës curvilignes de la plus grande vitesse,* 632
Chap. VII. *De la figure qu'il faut donner à toute la partie postérieure de la carène, lorsqu'elle est terminée par un simple trait horisontal, & de la maniere de s'en servir pour former des gates,* 636
Chap. VIII. *Suite du Chapitre précédent; examen de la figure qu'il faut donner à la poupe lorsqu'elle est un conoïde, & de la maniere d'en former une Frégate,* 646
Table *des dimensions de la poupe conoïdale qui contribuë le plus qu'il est possible au sillage par l'impulsion qu'elle reçoit du reflux de l'eau,* 651
Chap. IX. *De la forme que doivent avoir les Navires de transport & les Navires de guerre, & d'une derniere forme pour les Frégates,* 652
Premiere solution, pour le cas dans lequel la prouë est formée par deux plans verticaux qui font un angle, 653
Seconde solution, pour le cas dans lequel la prouë est terminée par un seul plan incliné en avant, 660
Méthode particuliere de former les Vaisseaux de guerre & les Frégates, 663
Chap. X. *Suite du Chapitre précédent : examen de la figure particuliere qu'il faut donner à la prouë des Navires de transport,* 665
Table *des dimensions de la prouë du plus grand mouvement,* 674
Conclusion, 679

Fin de la Table des Chapitres.

TRAITÉ DU NAVIRE, DE SA CONSTRUCTION, ET DE SES MOUVEMENS.

LIVRE PREMIER.

Idée générale de la Construction, avec diverses remarques sur les regles ordinaires.

Qui dubiis ausus committere flatibus alnum,
Quas Natura negat, præbuit Arte vias. *Claud.*

NOUS nous proposons en traitant de la construction des Vaisseaux, & de la Mécanique de leurs mouvemens, de substituer, s'il se peut, des regles exactes & précises, aux pratiques obscures & tatonneuses qui sont en usage dans la Marine. L'Architecture Navale, à parler

Digitized by Google

dans la rigueur, n'a point été un Art jusques à present; nous voulons faire ensorte qu'elle en devienne un, & qu'on n'agisse désormais dans toute cette matiere qu'avec lumiere & pleine connoissance de cause. Il est certain que ce sujet est digne par une infinité d'endroits de l'attention des Lecteurs & de celle des plus habiles Mathématiciens. Outre qu'il s'agit du salut & de la conservation des Marins qui ne craignent pas de s'exposer aux plus grands périls pour notre propre utilité, on ne sçauroit trop travailler à perfectionner un Art, qui après nous avoir appris, contre notre attente, qu'il y avoit des peuples au-delà des mers dans les endroits les plus reculés de la Terre, nous rend leur commerce extrémement facile, nous met à portée de leur communiquer nos loix & nos usages, & qui réussit si heureusement à nous procurer les richesses de tous les divers Païs. D'un autre côté, le Vaisseau dirigé ou animé, pour ainsi dire, par le Manœuvrier, constitue comme une admirable machine, ou comme un grand Automate, qui ne tient pas moins du poisson par la forme de sa carène, que de l'oiseau par l'usage de ses voiles : il ne doit pas moins à l'une qu'à l'autre de ces conformités l'avantage de franchir les plus grands espaces avec la plus extrême promptitude. Rien ne fait plus d'honneur à l'invention & à la hardiesse des hommes que le succès d'une pareille entreprise, & on peut à juste titre la regarder comme leur chef-d'œuvre. Jamais ils n'ont travaillé à aucun ouvrage, où il soit nécessaire d'une connoissance plus profonde des forces mouvantes, où il s'agisse d'intérêts plus importans, où le Physique se trouve plus mêlé avec le Géométrique, où enfin toutes les parties en plus grand nombre ayent des dépendances plus étroites & plus secretes.

Quoique nous soyons disposés à changer entierement, s'il le faut, les pratiques anciennes, nous tâcherons cependant de profiter de ce qu'elles peuvent avoir de bon; & nous ne ferons autre chose que les corriger ou les mo-

Digitized by Google

difier, lorſque ce ſimple changement nous paroîtra ſuffire. C'eſt ce qui nous invite en partageant ce Traité en trois Livres, de deſtiner autant ce premier à repréſenter l'état actuel de la Conſtruction qu'à donner une idée générale de cette partie de notre ſujet, & ce ne ſera que dans les deux Livres ſuivans que nous nous livrerons plus particulierement aux nouvelles recherches que nous croirons indiſpenſables. Dans le ſecond, nous examinerons la peſanteur du Vaiſſeau, l'eſpace qu'il occupe dans la mer & toutes les circonſtances de ſon état, lorſqu'il flote, mais qu'il ne ſingle pas. Dans le troiſiéme, nous le conſidérerons en mouvement, & nous tâcherons de déveloper toutes les particularités de ce ſecond état; objet principal, ou plutôt unique, qu'on doit même avoir en vûë dans les autres diſcuſſions. Si les deux ſujets, la Conſtruction des Vaiſſeaux & la Mécanique de leurs mouvemens, ne ſont pas abſolument inſéparables, il eſt au moins clair qu'on ne peut pas traiter le premier à fond & juſqu'à l'établir ſur des principes certains, ſans examiner le ſecond; puiſque les Navires ne ſont faits que pour ſe mouvoir.

PREMIERE SECTION.

Où l'on traite de la figure du Vaisseau & de ses parties intérieures.

CHAPITRE PREMIER.

Des différentes especes de Navires.

A Peine la Navigation fut-elle inventée qu'on se hâta, pour ainsi dire, d'en changer l'usage, en renonçant en partie aux avantages qu'elle offroit. Dans le dénombrement des différens ordres de Navires que nous sommes obligés de faire, nous commencerons par les plus grands, & ce sont ces mêmes qui étant actuellement chargés & encore plus embarassés de leur propre artillerie, ne sont d'aucune utilité, si ce n'est pour la guerre. On les distingue en différens rangs ou en différentes classes : cette distinction est toujours fondée, ou sur le nombre de canons qu'ils peuvent porter, ou sur la multitude d'étages qu'ils ont principalement vers la poupe.

I.

Des Vaisseaux du premier rang.

Les premiers, ou ceux qu'on nomme du *premier rang*, sont armés de 100 ou 120 canons, ils ont de longueur 170 ou 180 pieds, de largeur un peu moins de 50, & leur artillerie est distribuée de chaque côté en trois batteries completes placées par étages les unes au-dessus des autres. Ces étages sont formés par trois especes de planchers qu'on nomme *Ponts*, & le supérieur en particulier *le Tillac*. Chaque batterie est composée de chaque côté du

Digitized by Google

Vaisseau de 15 ou 16 canons : les embrasures qui prennent dans les Vaisseaux le nom de *Sabords*, ont un peu plus de trois pieds de largeur pour les plus gros canons, pour ceux de 36 ou de 48 livres de bale ; & leur intervale est ordinairement de 7 ½ pieds. Outre ces trois batteries complettes, on met le plus souvent cinq canons de chaque côté sur un demi-pont qui est plus haut, qu'on nomme le *Gaillard*, lequel commençant à l'arriere, vient se terminer vers le milieu du Navire. Il y a aussi du canon sur le gaillard ou *Château d'avant*, ordinairement trois de chaque côté ; & enfin au-dessus du gaillard de l'arriere, il y a encore deux étages qu'on nomme *Dunettes*, & on met au moins sur la premiere du canon de petit calibre.

La premiere batterie, c'est-à-dire, la plus basse, est formée de canons de 48 livres de bale, & il y en a 15 de chaque côté. La seconde batterie, qui est immédiatement au-dessus, a des canons de 18 livres & il y en a 16 de chaque côté, le Navire étant en haut un peu plus long : ces canons répondent exactement au milieu des intervales de ceux de la premiere batterie qui sont au-dessous. Enfin la troisiéme qui est celle du tillac, a du canon de 12 livres, & il n'y en a que 15 de chaque côté, quoique le Navire se trouve encore un peu plus long ; mais on veut conserver un grand espace, sur tout en arriere, pour la commodité du logement. Les canons des gaillards sont de 8 livres, & ceux de la premiere dunette sont de 4. Comme on ne construit guéres de Vaisseaux du premier rang l'usage n'a rien de décidé bien absolument sur tout cela. La longueur du Navire devient déterminée par le nombre des canons qu'on veut donner à la premiere ou à la seconde batterie : car l'expérience a montré qu'il faut mettre pour le service de l'artillerie l'intervale qu'on a indiqué, 7 pieds & demi, ou au moins 7 pieds entre les sabords, afin que le feu que repand un canon par sa bouche ou par sa lumiere ne puisse pas se communiquer aux autres, & qu'outre cela les Canoniers ne se trouvent pas gênés. Il y auroit moins d'inconvenient à augmenter les

intervales, & c'eſt ce qu'on a fait quelquefois. Une batterie de 16 canons, y compris ſes deux extrêmités, occupe de cette ſorte plus de 170 pieds de longueur.

Les Vaiſſeaux du *premier rang* ont, comme on le voit, trois ponts & demi & deux dunettes; de ſorte que ſans compter la *cale* ou la capacité intérieure qui eſt embaraſſée par la charge & par les munitions, ils ont vers la poupe cinq étages les uns au-deſſus des autres, diſtingués par ſix planchers. Ces cinq étages ont des retranchemens pour ſervir à la retraite des Officiers, & pour ſervir auſſi à leur aſſemblée commune. Il y a une trentaine de chambres & il ne faut pas moins d'une vingtaine d'Officiers pour tout régler dans un Navire où l'on eſt continuellement en action, & dont l'Equipage eſt d'environ 1200 hommes. Chacun des cinq étages a peu de hauteur, on le juge aſſez; celui de la *Chambre de Conſeil*, qui eſt au-deſſus du troiſiéme pont ou du *tillac*, n'a pas ordinairement 7 pieds, & le moindre qui eſt celui de la ſeconde dunette ou de la dunette ſupérieure, n'en a pas 5 : mais ces étages font enſemble une hauteur qui ne peut pas manquer d'être nuiſible. Le poids de tous les materiaux qui forment les appartemens & ces planchers immenſes qui forment les ponts, joints à la péſanteur de l'artillerie, ſont cauſe que le centre de gravité de tout le Vaiſſeau, ou ſon point le plus peſant, eſt preſque toujours trop élevé. Outre cela le vent qui frape avec force ſur cette poupe ſi haute, fait ſouvent tort à l'effet des voiles. Depuis quelques années on a en France ſuprimé preſque entierement les dunettes ſupérieures, & ce retranchement n'a dû produire que d'excellens effets par rapport à la Navigation.

Vaiſſeaux du ſecond rang. Les Vaiſſeaux qu'on nomme du *ſecond rang*, n'ont que trois ponts & deux dunettes, de ſorte qu'il leur manque ce demi-pont ou ce grand gaillard qui caracteriſe les premiers, & leur poupe n'a que quatre étages. Ils ont bien un gaillard, mais qui au lieu d'être de la moitié de la longueur du Navire, n'en eſt guéres que le tiers, & encore eſt-il compté lorſqu'on dit que ces Navires ont deux du-

Digitized by Google

nettes. Ils ont 150 ou 155 pieds de longueur, & sont armés de 80 ou 90 canons. Depuis qu'on a suprimé les dunettes supérieures il paroît qu'on confond quelquefois le second rang avec le premier, & qu'on fait entrer maintenant dans le second, des Vaisseaux qui appartiennent plutôt au troisiéme dont nous allons parler, mais qui sont cependant un peu plus grands. L'usage n'a fait encore que changer la signification du nom de rang, & n'a pas réussi à la fixer.

Vaisseaux du troisiéme rang.

Les Vaisseaux *du troisiéme rang* ont 135 ou 145 pieds de longueur, ils sont *montés* de 60 ou 70 canons, & ils n'ont que deux ponts & demi avec une seule dunette; ce qui ne leur donne que trois étages vers la poupe. Les Marins qui ont frequenté le plus la mer, assurent tous unanimement que ce sont ces sortes de Vaisseaux qui se comportent le mieux dans les tempêtes, & ils le feroient encore beaucoup mieux s'ils n'étoient pas tant chargés d'artillerie, quoiqu'ils n'en ayent pas ordinairement sur leurs dunettes. Un vent qui est trop impetueux pour un petit Navire, ne fait que mettre celui du troisiéme rang en mouvement, le fait marcher avec plus de vitesse, ou le fait passer plus promptement d'une route à l'autre. Il est préférable aussi presque toujours aux Vaisseaux des deux premiers rangs, parce que ces derniers sont encore plus chargés d'artillerie à proportion; qu'ils sont encore plus pesants par en haut, & qu'outre cela leur seule grandeur leur devient souvent funeste. Dans les tempêtes ces plus grands Vaisseaux se trouvent livrés à toute la fureur du mauvais tems, parce qu'il est peu de Ports assez profonds où ils puissent se retirer: & lorsqu'il fait peu de vent, ce ne sont plus au contraire que de lourdes machines qui devenant quelquefois immobiles dans une action, sont investies aisément de tous côtés par d'autres Navires moins forts. Au reste ces trois différens ordres, constituent les Vaisseaux proprement dits, ou les *Vaisseaux de ligne*; & tous ceux qui sont au-dessous, n'ont plus que le nom de *Frégates*.

Les Vaisseaux des trois premiers rangs, les Vaisseaux

à trois ponts & demi, les Vaisseaux à trois ponts & les Vaisseaux à deux ponts & demi, sont dits *de ligne*, parce qu'ils sont propres à soutenir le combat dans les Armées navales, & à s'arranger sur un ligne droite, pour présenter leur flanc à l'ennemi. De moindres Navires, comme ceux du quatriéme rang qui n'ont que cinquante canons, ou ceux du cinquiéme qui n'en ont que 30, ne peuvent pas supléer par leur grand nombre, parce qu'ils n'ont pas des canons assez gros, & que pendant qu'ils sont extrémement maltraités par l'artillerie des plus grands Vaisseaux, ils ne peuvent faire que très-peu de tort à ceux-ci qui sont beaucoup plus hauts & beaucoup plus forts en bois. Cela n'empêche pas cependant qu'au défaut d'autres, on n'introduise quelquefois dans les Armées navales, lorsqu'il s'agit même du combat, des Frégates ou des Navires qui ont moins de 60 canons, & qui ne différent ordinairement des Vaisseaux du troisiéme rang, que par la grandeur, sans en différer par la forme.

Vaisseaux de ligne.

II.

On a déja dit que tous les Navires qui ont moins de 60 canons, ou qui sont au-dessous du troisiéme rang, se nomment *Frégates*. Cependant ce dernier nom sert principalement dans la Marine à marquer la legereté des Navires; & on l'applique plus particulierement à ceux ausquels on a donné quelques parties de moins, afin de diminuer leur pesanteur. Lorsqu'il est question de Navires de guerre, il suffit qu'avec deux ponts, ils n'ayent qu'un très-petit gaillard, pour qu'ils soient Frégates : & si on rasoit un Vaisseau du premier rang, en lui ôtant le pont le plus haut, (ce qui peut quelquefois devenir nécessaire lorsqu'un pareil Vaisseau trop chargé par ses parties supérieures, ne peut pas naviger), il n'y a point de doute, vû la légereté qu'il acquerroit & le peu de hauteur qu'il auroit ensuite à proportion de sa largeur & de sa longueur, que tous les Marins ne s'accordassent à le nommer Frégate, quoiqu'il eût le même nombre d'étages que le Vaisseau du troisiéme

Frégates.

Digitized by Google

me rang, & qu'il portât encore 78 ou 80 canons, comme les Vaisseaux du second. Lorsqu'il s'agit au contraire de Navires Marchands, dont les plus grands n'ont que deux ponts & dont la fabrique est pesante, on ne donne le plus souvent le nom de Frégates qu'à ceux qui n'ont qu'un seul pont.

A l'égard des plus petits Navires, ils se subdivisent en un très-grand nombre d'especes; mais quelquefois leur différence ne consiste que dans la seule disposition de leur mâture. Les *Corvettes* sont de petites Frégates destinées pour porter des ordres, pour aller reconnoître des Navires éloignés, &c. Entre les Bâtimens de charge on distingue principalement les *Flutes*, qui sur la même longueur, sont par le dessous beaucoup plus grosses & plus plates que les autres Navires. Ce sont des especes de parallelipipedes rectangles dont on n'a fait, pour ainsi dire, qu'émousser les angles. Ces Flutes qui ont quelquefois deux ponts, quoiqu'elles soient toujours fort étroites, sont principalement en usage en Hollande & dans les autres endroits où l'eau a peu de profondeur, soit dans les ports, soit sur la côte. En France, & encore moins en Angleterre, on ne se sert guéres de ces sortes de Bâtimens, & si nous donnons quelquefois le même nom à quelques uns de nos Navires, à cause de quelque leger rapport, ils en différent cependant beaucoup. Nos Négocians préférent les Bâtimens qui sont moins plats par dessous, parce que s'ils ne portent pas une si grande charge, ils vont en recompense plus vite, ils sont plus propres à se défendre en tems de guerre & à éviter aussi l'ennemi par la fuite. On a encore les *Flibots* & les *Houcres* qui sont des especes de Flutes: mais il n'est pas, ce semble, nécessaire de descendre ici dans un plus grand détail, qui paroîtroit mieux convenir à un Dictionnaire. Au lieu que la grandeur des Vaisseaux de guerre se désigne ordinairement par leur rang ou par le nombre de canons dont ils sont armés; on exprime plus souvent la grandeur des Navires ou des Bâtimens de charge, par le poids qu'ils peuvent porter; & ce

Corvettes. *Flutes.* *Flibots.* *Houcres.*

poids eſt ſpécifié en tonneaux, dont chacun peſe 2000 livres poids de marc.

Il n'appartient qu'aux Souverains de faire bâtir des Vaiſſeaux du premier & du ſecond rang, tant les frais en ſont conſidérables, mais lorſque des particuliers entreprennent d'en faire conſtruire qui ſemblent être du troiſiéme, ils ne ſont ordinairement que du quatriéme. On jugera de l'énorme travail qu'éxige la conſtruction d'un Navire du premier rang, lorſqu'on ſçaura qu'il faut employer plus de 4000 chênes, ſans compter une prodigieuſe quantité d'autres bois ; il faut plus de 300 milliers de fer, & plus de 130, ou 140 mille journées d'ouvriers. Les Vaiſſeaux Royaux ſont auſſi toujours d'un échantillon plus fort que les Navires des particuliers : l'intervale entre leurs canons eſt plus grand ; les ponts ſont plus élevés, de ſorte qu'indépendamment des ornemens & de la ſculpture qui les diſtinguent, on remarque dans l'Architecture Navale, à peu près cette différence qu'on voit dans l'Architecture Civile, entre les Palais des Princes & les Maiſons des ſimples Citoyens. Un Vaiſſeau de Roy de 48 ou 50 canons, eſt auſſi grand qu'un Navire Marchand qui en porte 60. On demandera peut-être, s'il ne ſeroit pas à propos de donner moins de canons aux Navires des particuliers, ou d'en donner davantage à ceux du Roy. La queſtion paroît fondée : mais il faut faire attention que les Vaiſſeaux Royaux ont des canons d'un plus grand calibre, & qu'ils ſont plus forts en bois, ainſi qu'on l'a déja dit ; ce qui eſt comme néceſſaire à cauſe de leur deſtination. Ils doivent préſenter le flanc, non-ſeulement à d'autres Navires qui ont une auſſi groſſe artillerie, il faut qu'il le préſente encore quelquefois aux Citadelles même qui ſont ſur le bord de la mer, & qu'ils puiſſent en foudroyer les défenſes ; ce que les autres Navires ſont fort éloignés d'entreprendre.

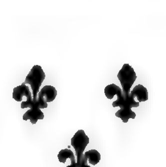
III.

Navires de bas-bord. Toutes les eſpeces de Vaiſſeaux & de Bâtimens dont

Digitized by Google

nous venons de parler, ne ſinglent ordinairement qu'à la voile. Il en eſt quelques uns, mais qui ſont ſouvent aſſez petits, qui ſont de 100 ou de 200 tonneaux, ou qui ont 60 ou 80 pieds de longueur, qu'on nomme *Galiotes*, *Tartanes*, *Brigantins*, *Bateaux*, *Barques*, *&c.* qui vont à voiles & à rames, ſelon les occaſions; & il y a enfin les *Galeres* qui ſont faites principalement pour aller à rames. Tous ces Navires qui vont à rames ſont nommés de *bas-bords*, pour les diſtinguer de ceux de *hauts-bords*, entre leſquels on ne laiſſe pas de mettre les plus grandes Frégates, quoique le nom de *hauts-bords* convienne particuliement aux Vaiſſeaux de ligne ou des trois premiers rangs. Entre tous les Bâtimens de bas-bords, ce ſont les Galeres qui ont moins de hauteur au-deſſus de l'eau, & cela pour la commodité des Rameurs. L'expérience ſeule a dû perfectionner aiſément ces ſortes de Bâtimens; apprendre la diſpoſition la plus commode des rames; la longueur de ces rames pour tirer le parti le plus avantageux de la force ordinaire des hommes; la largeur de la Galere qui dépend principalement de la longueur de la partie intérieure de la rame. S'il reſte enfin quelque choſe à corriger encore, ce doit être ſeulement la figure de la carene, que le tatonnement & le long uſage n'ont pas pû faire rencontrer avec la même facilité. Cependant comme la proue de la Galere, ſur une longueur ou une ſaillie très-conſidérable, n'enfonce que très-peu dans l'eau, preſque toutes les figures qu'on peut lui donner, ſont indifférentes; auſſi-tôt qu'elles viennent ſe terminer inſenſiblement en pointe. Ainſi il n'y a point de doute que de tous les Navires, ce ne ſoit celui-ci où il y a le moins à réformer.

Galeres.



CHAPITRE II.

Des principales parties du Vaisseau & leurs proportions selon les regles ordinaires.

PERSONNE n'ignore la forme extérieure qu'ont les Vaisseaux, & que si on s'est proposé d'imiter dans leur figure celle des poissons qui nagent le mieux, on a voulu en même tems, dans l'arrangement des différentes pieces intérieures qui les composent, imiter la structure du squélette de la plûpart des animaux. *La quille.* La quille, cette longue poutre, ou plutôt cet assemblage de poutres mises bout à bout, qui est au-dessous de tout l'ouvrage, & qui en est la base, est comme l'épine; pendant que toutes les pieces de bois courbées, qu'on nomme les *membres* & quelques autres fois les *varangues*, les *couples*, représentent les côtes de l'animal. La quille est la premiere piece qui se pose sur le chantier; & comme il arrive souvent qu'on n'a point de poutres assez longues pour la former d'une seule piece, on la fait de trois ou quatre parties qu'on joint les unes au bout des autres par des especes d'entailles. *Les escares.* On nomme ces entailles, *endentures*, *escares*, ou *empatures*; & on a le soin de les rendre assez longues, le plus souvent de 9 ou 10 pieds; afin de donner plus de force au tout. La quille de nos plus grands Vaisseaux; de ceux du premier rang, est d'environ 150 pieds; c'est la longueur qui, pour parler comme les Marins, *porte sur terre*, quoiqu'elle soit faite pour n'y pas porter. *La longueur portant sur terre.* Les constructeurs donnent pour l'ordinaire autant de pouces de largeur & de hauteur à la quille que la septiéme partie de sa longueur contient de pieds: c'est-à-dire, pour exprimer la chose d'une maniere plus simple, qu'on fait l'épaisseur la quatre-vingt-quatriéme partie de la longueur. Si la quille a 140 pieds de long, on lui donnera 20 pouces de hauteur & autant de largeur.

Digitized by Google

Aux deux extrémités de la quille s'élevent deux pieces de bois, celle de l'avant beaucoup plus inclinée que celle de l'arriere; & ces deux pieces terminent le Vaisseau dans le sens de sa longueur. La premiere ou celle de l'avant, qui est *l'étrave*, est toujours courbée à peu près comme l'est un arc de cercle de 70 dégrés. Elle a de hauteur verticale à peu près le quart de la longueur de la quille, ou un peu moins, selon plusieurs autres Constructeurs, qui ne lui donnent de hauteur que 28 ½ pieds, lorsque la quille est de 124. Cette piece de bois est, comme je l'ai dit, panchée en avant; elle a de saillie la moitié de sa hauteur, ce qui fait à peu près la huitiéme partie de la longueur de la quille; mais quelquefois on lui en donne beaucoup davantage. Cette saillie est nommée en termes d'art *l'élancement de l'étrave.*

L'étrave & sa hauteur.

L'élancement de l'étrave & sa quantité.

L'autre piece de bois qu'on nomme l'*étambot* est élevée à l'autre extrémité de la quille ou à l'extrémité de l'arriere, & on lui donne ordinairement une quarantiéme partie moins de hauteur verticale qu'à l'étrave. Cette piece de bois panche aussi & en dehors, mais seulement de la quatriéme dont panche l'étrave; & cette inclinaison se nomme *la queste*. Ainsi *la queste de l'étambot* est égale au quart de *l'élancement de l'étrave.* On voit assez la raison pourquoi l'étrave est panchée en avant; c'est pour contribuer à former la saillie ou la courbure de la prouë; cette disposition est comme nécessaire: mais il paroît que rien n'obligeoit de faire aussi pancher l'étambot & de lui donner de la queste; si ce n'est l'envie qu'on a eu d'augmenter la longueur du Vaisseau par en haut, & de rendre l'arriere plus étendu & plus capable de fournir des logemens commodes aux Officiers. D'un autre côté cette situation de l'étambot est cause que le poids de toute la poupe qui est au-dessus & qui est augmenté par les galeries, &c. fait un grand & continuel effort pour faire pancher encore plus l'étambot, ou pour ouvrir l'angle obtus qu'il fait avec la quille. Cet inconvenient qui ne laisse pas d'avoir des suites fâcheuses, cesseroit tout d'un coup, si on vouloit se ré-

La queste de l'étambot & sa quantité.

foudre à perdre quelques pieds fur la longueur fuperflue du Vaiffeau, en pofant l'étambot plus verticalement.

La longueur du Vaiffeau

La longueur des Vaiffeaux fe prend toujours dans la Marine depuis le haut de l'étambot jufques au haut de l'étrave. Ainfi la longueur proprement dite eft plus grande que cellequi porte fur terre des deux quantités dont l'étrave & l'étambot panchent en dehors. Tantôt les Conftructeurs réglent toutes les parties du Vaiffeau fur la feule longueur de la quille, tantôt ils les réglent immédiatement fur la longueur proprement dite, ou prife du haut de l'étambot au haut de l'étrave, ou de *cap en cap*. Dans ce fecond cas, il faut retrancher de la longueur du Navire environ une neuviéme partie du côté de l'avant pour l'élancement de l'étrave; retrancher en même tems en arriere une trente-fixiéme partie pour la quefte de l'étambot, & le refte qui eft de 31 trente-fixiémes du tout, fera la longueur de la quille.

Les membres.

Ces pieces de bois courbées, que les Conftructeurs nomment *membres*, & qui étant comme les côtes du fquelette s'arrangent perpendiculairement au-deffus de la quille, font toujours formées de plufieurs parties dont chacune a fon nom. La *varangue* eft la partie d'embas qui eft prefque plate dans le milieu du Vaiffeau & qui s'applique immédiatement fur la quille; fouvent, mais par extention, on donne le même nom à l'affemblage de toutes les pieces ou des membres qui forment la courbe entiere. *Les genoux de fond*, ou fimplement les genoux, font les deux pieces qui fe joignent aux deux extrémités de la varangue & qui forment un plus grand arrondiffement: au-deffus font d'autres pieces qu'on nomme *allonges* & qu'on diftingue par premieres, par fecondes & même par troifiémes, jufqu'à ce qu'on foit parvenu affez haut. Mais les *allonges* d'en haut qui au lieu de préfenter au dehors leur convexité, préfentent au contraire leur concavité, prennent le nom *d'allonges de revers*. Toutes ces pieces fe joignent enfemble en mettant l'extrémité de l'une à côté de l'extrémité de l'autre, & cette jonction fe nomme *empâture*: ou

Les genoux de fond.

Les allonges.

Allonges de revers.

Digitized by Google

bien on les met au bout les unes des autres ; mais pour qu'elles se soutiennent, on met à côté un autre assemblage de varangue, de genoux, d'allonges, en faisant ensorte que les jonctions des pieces d'un assemblage répondent vers le milieu des pieces de l'autre ; & le tout étant fortement chevillé ensemble, fait une double côte qu'on nomme *couple* par cette raison. On nomme aussi ces couples *gabaris*, quoique ce dernier nom convienne plutôt au modéle fait en planches, pour représenter la courbure qu'on doit donner aux membres. *Les couples* *Les gabaris.*

On voit la plus grande partie de ce que nous venons de dire dans la figure premiere. La quille AB est formée de quatre pieces jointes l'une à l'autre par les *escares* que nous n'avons pas oublié de représenter. A est l'extrémité de l'arriere qu'on nomme *talon*, & B l'extrémité de l'avant qu'on nomme *brion* ou *ringeot*. La piece de bois AC est l'étambot, & la distance AF interceptée par le *talon* & par la perpendiculaire CF abaissée du haut de l'étambot sur le prolongement de la quille, est la queste que nous prétendons qu'il n'y auroit point d'inconvenient à diminuer ni même à détruire. L'étambot est fort large par en bas ; il a deux fois plus de largeur que la quille n'a ordinairement de hauteur. Il entre dans la quille par une mortaise, & il y est outre cela encore lié par une piece de bois courbe PQR, qui fait un angle obtus, & dont la branche qui s'applique sur la quille dans les plus grands Vaisseaux à 8 ou 9 pieds de long & l'autre 12 ou 13. Cette piece de bois prend son nom de sa figure, on la nomme *courbe* : il en entre beaucoup d'autres de la même figure & du même nom, dans la construction du Vaisseau. La piece de bois BD placée de l'avant est l'étrave & BE est son élancement. La longueur du Vaisseau est prise ordinairement (nous le repetons) depuis le haut D de l'étrave jusqu'au sommet C de l'étambot. L'étrave soutient toutes les pieces qui forment l'épron, cette partie destinée à l'ornement du Navire ; & la *gorgere* ou *le taille mer* W, y est immédiatement attaché. La poulaine est aussi toute cette *Fig. 1.*

partie de l'avant, mais en la confondant avec le corps même du Vaisseau auquel elle se joint. Il faut remarquer qu'on est assujetti à donner à l'étrave une certaine hauteur, parce que le mât de beaupré, ce mât incliné en avant & qui sort du Vaisseau, s'appuye sur son sommet D. Enfin on voit dans la même figure quelques varangues ou quelques couples; mais le Lecteur doit sçavoir qu'on en met un si grand nombre dans la fabrique des Vaisseaux, qu'elles ne laissent entr'elles que peu d'intervale, & qu'il y a presque toujours plus de plein que de vuide.

Fig. 2. La seconde figure qui représente une couple entiere, montre d'une maniere plus précise les parties dont elle est composée. EF est la varangue; EL & FK sont les deux genoux, & les autres pieces ajoutées au-dessus de celles-ci sont les allonges, & la derniere est l'allonge de revers. Cet assemblage de pieces se joint & s'attache à un autre, comme j'en ai déja averti, ce qui lui a fait donner le nom de couple, ou ce qui y a contribué.

Le plat de la varangue.

L'acculement des varangues.

Vers le milieu du Vaisseau les varangues sont presque plates, & c'est pour cela que EF s'appelle *le plat* de la varangue ou du Vaisseau, quoiqu'il ne le soit pas exactement. Les deux quantités IF & HE, dont les deux extrémités de la varangue s'élevent, s'appelle l'*acculement*. Les Constructeurs disputent beaucoup entr'eux sur la grandeur *du plat*, mais on voit clairement que cette dispute est absolument inutile, tant que l'acculement n'est pas déterminé. A mesure qu'on considére le Vaisseau plus vers l'avant & plus vers l'arriere, le plat des varangues diminue, & l'acculement augmente. Les *varangues acculées* & les *fourcats* sont celles dont les deux branches commencent à faire un angle aigu ou même droit, & les genoux qui présentent alors leur concavité en dehors prenent le nom de *genoux de revers*. Les membres OS & OT (Fig. 1.) qui forment la poupe, se nomment en particulier *estains*, & *cornieres* les allonges comme TY. On applique aussi sur l'étrave des membres en forme de côtes, & ce sont les *allonges d'écubier* à cause des *écubiers* qui sont au-dessus, qui sont des

Les varangues acculées & les fourcats.

Les genoux de revers.

Les estains & cornieres.

Les allonges d'écubier.

Digitized by Google

des trous faits au haut de la prouë par lesquels passent les cables qui servent à retenir le Navire. Je reviens à la figure de la carène qui n'imite la forme des poissons que par le retrecissement de ses varangues vers l'avant & vers l'arriere, & que par l'augmentation de son acculement. C'est ce qui fait que le Navire, pour parler comme les Marins, est *taillé* ou *façonné*, qu'il est *frégaté* ou que *ses fonds sont fins*. Ainsi le Vaisseau qui a beaucoup de *façons*, c'est celui dont la carène diminue très-subitement de grosseur par dessous, vers la poupe & vers la prouë, ou dont les varangues ont beaucoup d'acculement. Le plat des varangues se réduisant à rien au point K de l'étrave (Fig. 1.) la hauteur &K y représente l'acculement, qu'on nomme en particulier *hauteur des façons* de l'avant; & par la même raison AO est *la hauteur des façons de l'arriere*.

Le Navire qui est taillé. Qui est fregaté. Qui a beaucoup de façons, dont les fonds sont fins. Hauteur des façons de l'avant & de l'arriere.

On voit aussi dans la figure 2, & nous les avons représentés encore dans la figure premiere, *les baux*, ces poutres qui soutiennent les ponts ou planchers du Vaisseau. Les baux sont joints aux membres par le moyen des courbes que nous avons marquées dans l'une & l'autre figure, & ils sont étendus dans le sens de la largeur du Navire. Ils ont tous une courbure considérable : cette courbure est telle dans le bau le plus long AB (Fig. 2.) que le point D qui est au milieu de sa surface inférieure, se trouve ordinairement en ligne droite avec les deux extrémités A & B de sa surface supérieure. Cette courbure qu'on nomme *bouge*, sert non-seulement à empêcher le trop grand recul des canons, lorsqu'on les tire; mais aussi à faciliter l'écoulement des eaux qui sans cela pourroient séjourner sur les ponts.

Les baux.

Le plus grand des baux se nomme le *maître bau*, & il indique *le fort du Navire*, c'est-à-dire, l'endroit le plus large. L'assemblage des membres, la varangue, les genoux, &c. qui se pose dans le même endroit, se nomme *la maîtresse couple, la maîtresse varangue, le maître ou le premier gabari*. Tous ces noms étant établis par un long usage, nous ne pouvons pas nous empêcher de les admettre. Les derniers baux de l'arriere changent de nom, on les nomme *barres*

Le maître bau. Le fort du Navire. La maîtresse couple, la maîtresse varangue, le maître gabari.

Les barres d'Arcasse. *d'arcasse*, parce que l'arriere du Vaisseau, cette partie qui se termine presque verticalement, se nomme *l'arcasse*. Enfin la poutre ST (Fig. 1.) qui est bien une des barres d'arcasse, mais qui est située dans l'endroit le plus large de la poupe ou dans son *fort*, & presque toujours au haut de l'étambot, se nomme en particulier *la barre ou la lisse d'hourdy*. *La lisse d'Hourdy.*

CHAPITRE III.

Suite du Chapitre précédent, dans laquelle on continue à expliquer les noms & les proportions des principales parties du Vaisseau.

NOUS continuons notre description en commençant par avertir le Lecteur, de tâcher de dissiper par son attention, ou par une lecture réiterée, l'obscurité qui est inséparable de pareils détails, vû la multitude des objets & la difficulté qu'il y a d'y apporter tout l'ordre qu'on souhaiteroit. C'est *la maîtresse couple* ou *la maîtresse varangue* qui sépare, l'une de l'autre, les deux parties du Vaisseau, de l'avant & de l'arriere. Au lieu de la mettre au milieu de la longueur du Navire, on la place toujours un peu plus vers la prouë, ce qui rend cette partie plus courte & plus grosse. Plusieurs Constructeurs la mettent aux $\frac{5}{12}$ de la quille, à commençer de l'avant; c'est-à-dire, que toute la quille BA (Fig. 1.) étant divisée en 12 parties égales, il y en a cinq depuis son extrémité B jusqu'au point G, ou on place le premier gabari; de-sorte qu'il se trouve à peu près à une trente-sixiéme partie de toute la longueur DC du Navire plus en avant que le milieu. On le portoit le tems passé plus vers la prouë, en ne le plaçant qu'au tiers de la quille; mais on a eu quelque raison, comme on le verra dans la suite, de le reculer davantage vers l'arriere, quoique nous croyons qu'on l'a trop reculé.

De l'endroit où l'on met la maîtresse varangue.

Digitized by Google

De la plus grande largeur du Vaisseau ou de la longueur du maître bau.

Le maître bau représenté par AB dans la figure 2, & par VX dans la premiere, a souvent de longueur le quart de la quille ; cependant dans les Vaisseaux du Roy, qui ont besoin d'être larges à cause du mouvement qu'il faut que se donne l'équipage dans les combats ; on augmente souvent cette longueur du bau, jusqu'à la rendre, ou peu s'en faut, le tiers de celle de la quille. Si l'on considere les dimensions sans relation les unes aux autres, c'est la largeur à laquelle il est le moins permis de toucher dans les Vaisseaux de guerre, au moins pour la diminuer. Lorsqu'on est en pleine mer, on retire la chaloupe à bord & on la place au milieu du pont ; & il faut qu'il y ait encore assez d'espace des deux côtés pour permettre le recul des canons & faciliter leur service. On est attentif à donner aussi plus de largeur à ces derniers Navires à mesure qu'on les rend plus hauts, ou qu'on multiplie leurs ponts : & c'est ce qui est très-naturel, ou plutôt c'est ce qui est absolument nécessaire, comme on le verra dans le Livre suivant.

On construisoit il y a un siécle des Vaisseaux encore plus larges : le P. Fournier nous assure qu'on a souvent mis de son tems, entre le bau & la quille, le rapport de 5 à 14, & que ces Vaisseaux se sont trouvés excellens. Mais ce qui fait toucher au doigt, en attendant que nous le prouvions par des raisons démonstratives, qu'on ne peut pas beaucoup compter sur toutes ces prétendues expériences qui servent néanmoins d'unique fondement aux regles ordinaires, c'est qu'on a fait en même tems des Navires ausquels on n'a donné de largeur qu'environ la cinquiéme partie de la longueur de leur quille & qui n'ont pas moins bien réussi. Les Constructeurs qui évitent le plus qu'ils peuvent les opérations d'Arithmétique, se font pour cela des régles particulieres dont on se contentera de donner ici un exemple, en rapportant celle dont ils se servent quelquefois pour trouver la largeur de leur Navire, non pas par rapport à sa quille, mais par rapport à la longueur totale ; & on pourra s'en servir dans les plus grands Vaisseaux de guerre. Ils donnent au bau autant de fois trois

Digitized by Google

pouces & trois lignes de plus, que cette longueur totale contient de pieds. La longueur du Vaisseau est-elle de 170 pieds depuis le haut de l'étrave jusqu'au haut de l'étambot? ce sont cinq cens dix pouces & cinq cens dix lignes, ou 46 pieds $\frac{1}{2}$ pouce qu'il faut donner au bau; ou ce qui revient au même, on lui donne treize quarante-huitiémes de la longueur du Navire : c'est-à-dire, le quart de la longueur & de plus la douziéme partie de ce quart.

Le bau étant reglé on s'en sert pour déterminer beaucoup d'autres dimensions qui se réglent aussi sur la longueur de la quille, & c'est ce qui met dans les proportions qu'employent les Constructeurs, une confusion qui les embarrasse quelquefois eux-mêmes. Il seroit bon en attendant qu'on sçût les véritables régles, qu'on ne fît dépendre une dimension d'une autre, qu'autant qu'on voit qu'il doit y avoir entr'elles une relation immédiate. Il est naturel, par exemple, de regler sur le bau, le plat de la maîtresse varangue; on le fait ordinairement en France de la moitié du bau : mais puisqu'on s'est résolu de nommer plat ce qui le plus souvent ne l'est pas, il paroît que pour éviter toute équivoque, on devroit s'accorder à donner toujours ce nom dans la premiere varangue à une partie égale à la moitié ou à quelqu'autre portion constante du maître bau; ce qui n'empêcheroit pas qu'on ne lui donnât différentes figures en élevant plus ou moins ses deux extrémités, ou en rendant son *acculement* plus ou moins grand.

De la quantité du plat de la maîtresse varangue.

On le fait, cet acculement, pour l'ordinaire de la vingt-quatriéme partie du plat dans les Vaisseaux du premier rang; de la dix-huitiéme dans ceux des trois rangs suivans; & de la douziéme dans ceux du cinquiéme, c'est-à-dire, que EF ou HI (Fig. 2.) est la moitié AB, & que FI ou EH est la vingt-quatriéme partie, ou la dix-huitiéme, ou la douziéme de EF : desorte que les plus grands Vaisseaux sont réellement un peu plus plats par dessous.

De la quantité de l'acculement.

Il faut remarquer que ces rapports ne sont pas toujours énoncés d'une maniere si simple dans les maximes des Constructeurs : car au lieu de dire, par exemple, que l'ac-

culement est une certaine partie du plat de la varangue, ils disent souvent que c'est une telle partie de la quantité dont le Navire enfonce plus dans l'eau par l'arriere que par l'avant : comme s'ils voyoient la moindre relation entre cet excès & l'acculement qu'on donne aux varangues dans l'endroit le plus gros du Vaisseau.

Quoiqu'il en soit, nous sommes très-persuadés qu'il est souvent nécessaire de faire varier l'acculement. Les Navires qui sont destinés à naviger dans les mers peu profondes, doivent être, ainsi que nous l'avons déja dit, beaucoup plus plats par dessous. De-là naît cette différence qu'on voit entre la carène de nos Vaisseaux, & celle des Navires qu'on construit en Hollande, en Suede & en Danemarc. Le plat étant le même; ces Nations rendront souvent l'acculement nul, au risque de préjudicier à la promptitude du sillage, comme on l'expérimente presque toujours : au lieu que c'est tout le contraire chez les Nations dont les Ports sont assez profonds pour n'assecher jamais; on y donne beaucoup plus de *façons* aux Vaisseaux; on rend leur carène si fine qu'ils ne peuvent pas se soutenir à sec sans verser. Cet accident est ordinaire aux Navires Anglois, & il arriveroit peut-être aussi aux Navires qui sont destinés à ne naviger que dans la mer Méditerranée. L'usage seul avoit déja établi cette différence dès le tems des Romains, comme nous l'apprend César dans ses Commentaires, en parlant de la revolte des habitans de Vannes.*

* Liv. 3. guerres des Gaules.

Rentrée des Vaisseaux & sa quantité.

On retrecit toujours les Navires par en haut; c'est ce qu'on nomme leur *rentrée*. Elle est ordinairement de chaque côté d'une dixiéme partie du bau. Desorte que si le Vaisseau a 40 pieds de plus grande largeur AB (Fig. 2) il n'y aura que 32 pieds depuis S jusqu'en T; parce que la *rentrée* sera de 4 pieds de chaque côté. On allegue plusieurs raisons de cet usage. On se propose de ramasser plus vers le milieu toute la pesanteur du Navire; on a voulu peut-être aussi rendre l'abordage plus difficile, & se trouver encore à quelque distance de l'ennemi, lorsque les

Digitized by Google

deux Vaisseaux se touchoient. Enfin il paroît que les vagues qui viennent choquer le flanc du Navire, glissent avec plus de facilité en montant, & font moins d'impression, lorsqu'elles rencontrent une surface inclinée en dedans. Tous ces motifs pris ensemble peuvent être de quelque considération : cependant il seroit à propos que le Navire ne commençât toujours à se retrecir qu'au-dessus de l'endroit jusqu'auquel il s'incline dans les routes obliques, lorsque le vent le charge avec plus de force. Il faut d'ailleurs qu'on retrecisse trop par en haut les petits Navires, ou qu'on ne retrecisse pas assez les grands; puis qu'en donnant aux uns & aux autres la même rentrée à proportion de leur largeur, mais sur différentes hauteurs; c'est réellement la même chose que si on retrecissoit moins les grands, & leurs flancs sont beaucoup moins inclinés que ceux des petits.

De la longueur de la lisse d'hourdy & de celle du couronnement.

La lisse d'hourdy ST (Fig. 1.) se fait ordinairement des $\frac{2}{3}$ du bau; & on donne pour largeur au couronnement ou à la partie qui termine la poupe par en haut, la moitié du bau.

Le creux & sa quantité.

La profondeur des Vaisseaux ou *le creux* pour parler comme les Marins, se mesure depuis le dessous Δ du bau (Fig. 1.) ou D (Fig. 2.) jusqu'au-dessus de la quille, & se fait le plus souvent des neuf vingtiémes du bau, ou d'une dixiéme partie moindre que sa moitié & quelquefois d'une douziéme. D'autres Constructeurs font cette profondeur exactement égale à la moitié du bau ou de la largeur; & cela, afin de rendre plus élevée au-dessus de la surface de l'eau, la premiere batterie, & de l'empêcher *d'être noyée.* Cette derniere régle ne doit pas encore être suivie par tout; & les Hollandois principalement se trouveroient mal de son observation. La plûpart de leurs Constructeurs, par une suite de cet abus que nous venons de condamner, au-lieu de faire dépendre *le creux* immédiatement de la largeur, le font dépendre de la longueur du Navire, en l'en rendant la dixiéme partie. *Le creux* se trouve de cette sorte d'environ les deux cinquiémes du bau, & en général on

le diminue, lorsqu'on rend le fond de la carène plus plat. Quelquefois il n'est que les $\frac{3}{8}$ du bau ou que les $\frac{3}{4}$ de sa moitié.

La hauteur du premier pont vers le milieu du Navire, se trouve fixée par *le creux* que nous venons de déterminer : mais le pont s'éleve ensuite vers l'avant & vers l'arriere. Vers l'avant il ne s'éleve que de quelques pouces dans les Vaisseaux même du premier rang, au lieu que vers l'arriere sa hauteur, au-dessus de la quille, est souvent plus grande d'une sixiéme partie.

Plusieurs autres choses sont réglées immédiatement sur la largeur du Navire, qui ne le devroient pas être. Il est clair, par exemple, que le creux ΔG (Fig. 1.) étant quelquefois plus ou moins grand, quoique les autres dimensions soient les mêmes, les hauteurs K&, & OA *des façons* de l'avant & de l'arriere, devroient être différentes. Cependant on donne presque toujours pour régle, de faire la premiere de ces hauteurs les $\frac{3}{10}$ de la longueur du bau, & la seconde, la moitié ou le tiers de celle-ci. D'autres Constructeurs veulent qu'on fasse la hauteur AO des façons de l'arriere égale à la moitié de celle de l'étambot AG; & ils ne pensent pas que cette piece de bois peut avoir plus ou moins de hauteur, sans que cela préjudicie le moins du monde aux qualités du Navire. Personne enfin ne s'est encore avisé de dire que la hauteur des façons de l'arriere devoit être environ les $\frac{2}{3}$ du creux, & celle des façons de l'avant d'environ un tiers. Il faut se souvenir que dans le langage des Constructeurs, toutes les hauteurs dont ils parlent, se mesurent toujours de dessus la surface supérieure de la quille.

De la hauteur des façons.

Le *tirant d'eau* ou la quantité dont le Navire doit enfoncer dans la mer, devroit encore être réglé sur le creux. On prétend presque toujours que de l'arriere, le *tirant d'eau* doit être les $\frac{9}{20}$ de la longueur du bau, & de l'avant seulement des $\frac{3}{8}$: desorte qu'on veut que le Navire enfonce plus dans la mer de l'arriere que de l'avant de $\frac{3}{40}$ de la longueur de son bau ; ce qui revient à peu près à une sixiéme partie du *creux*.

Du tirant d'eau.

Digitized by Google

Pour prendre une notion plus distincte du *tirant d'eau*; il n'y a qu'à le considerer dans l'endroit le plus gros du Navire. Il est à propos que *le fort* ou l'endroit le plus large ne soit pas dans l'eau, mais qu'il soit élevé d'une quantité considérable au-dessus. On se fait sur cela différentes régles, que l'avarice des Négocians ou même des Marins, ne respecte pas toujours assez, en rendant le péril presque évident par la grandeur de la charge. Quelques uns prétendent que *le fort* doit être élevé au-dessus de la *flotaison*, ou au-dessus de l'eau d'un pied ou d'un pied & demi; mais cette régle ne doit pas convenir à tous les Navires, aux grands & aux petits: il vaut donc mieux faire ensorte que cet endroit soit toujours élevé au-dessus de la mer ou de la flotaison d'une partie proportionnelle, comme de la huitiéme ou neuviéme partie du *creux* ΔG (Fig. 1.) Ainsi le *tirant d'eau*, ou la quantité dont le Navire plonge dans la mer par son endroit le plus gros, sera seulement des $\frac{7}{8}$ ou des $\frac{8}{9}$ *du creux*, augmentés de plus de l'épaisseur de la quille qui est encore au-dessous.

De la hauteur des entreponts.

Certaines autres dimensions, qui n'ont pas un rapport absolu avec la grandeur des Navires, doivent être à peu près les mêmes dans tous. La hauteur des étages ou des *entre-ponts* doit, par exemple, se régler sur la hauteur ordinaire des hommes. On fait ces étages de 5 pieds 7 pouces au-dessous même des baux dans les plus grands Vaisseaux, & de 5 pieds 5 pouces dans les Frégates. C'est ce qui est nécessaire dans les Navires faits pour la guerre, qui tirent leur plus grande force de leurs batteries basses: au lieu que dans les Navires Marchands, l'entre-pont ne servant qu'à loger la partie de l'équipage qui se repose, n'a pas quelquefois trois pieds de hauteur.

La grandeur des Navires ne doit faire encore que peu changer les intervales entre les canons ou les sabords: on observe au moins de ne les guére diminuer dans les Vaisseaux du Roy, quoique ce ne soit pas la même chose dans les Navires Marchands. A l'égard de la largeur des sabords, on la régle sur la grosseur des canons. Pour les plus

gros

gros on fait cette largeur d'environ trois pieds & pour les plus petits d'environ 2 pieds.

Je ne crois pas enfin devoir entrer dans l'explication de plusieurs autres parties qu'on peut abandonner entierement à la conduite de l'ouvrier. Comme je n'entreprens de parler de la construction des Vaisseaux que comme Mathématicien ou Physicien, je n'insiste pas sur diverses choses dont les dimensions ne sont point sujettes aux loix rigoureuses de la Mécanique; mais je ne puis pas me dispenser de dire qu'on nomme *bordages* les planches dont on couvre toute la carène, ausquelles on donne 4 pouces ou $4\frac{1}{2}$ pouces d'épaisseur dans les plus grands Vaisseaux; de même qu'à celles qui forment le premier pont ou le pont le plus bas. On se sert du nom de *franc-bord* pour marquer plus particulierement l'assemblage de tous ces bordages qui couvrent l'extérieur du Navire: car quelquefois on applique dessus, depuis la quille jusques vers la flotaison, d'autres bordages beaucoup moins épais, seulement pour garantir les premiers de la piqueure des vers qui se trouvent dans différentes Mers, & ce second revetissement se nomme *doublage*. On a une attention en *bordant* ou en *doublant*, ou lors qu'on applique les bordages, qui est trop particuliere pour qu'elle doive être oubliée. On sçait combien il est difficile à tous les ouvriers en bois, si on excepte les seuls Tonneliers, de faire des vases de plusieurs pieces, qui ne donnent aucune issue à l'eau: les Menuisiers les plus adroits, pour l'ordinaire n'y sçauroient réussir. Mais nos Charpentiers de Navires, aidés par les *calfats*, n'y trouvent aucune difficulté. Au lieu de mettre les bordages si près les uns des autres qu'ils se touchent, ils laissent toujours entr'eux un intervale considérable & assez grand pour recevoir l'étoupe qu'on y introduit en quantité & avec force, avec une espece de ciseau fait exprès; & on ne fait plus ensuite que couvrir le tout d'un enduit chaud composé de suif & de godron.

Bordages.

Pour ne pas obmettre l'explication de quelques autres parties encore assez essentielles, nous ajouterons qu'on

D

fortifie la quille par une autre piece de bois qu'on nomme la *contre-quille*, & qu'on presse les varangues dessus par plusieurs longues pieces, qui couchées dans le même sens que la quille, forment la *carlingue*, au-dessus de laquelle on met encore en travers les *porques* qui sont d'autres especes de varangues, qui ont aussi leurs genoux & leurs allonges. On rend l'assemblage du tout encore plus fort, en mettant d'autres bordages au Vaisseau par le dedans, qui prennent le nom de *vegres* ou de *serres*. Les baux sont attachés aux membres par le moyen des *courbes*, dont j'ai déja parlé; mais outre cela leurs extrémités se trouvent resserées entre des especes de bordages beaucoup plus épais, les *goutieres* & *serres-bauquieres* dans lesquelles ils s'endentent. Les baux sont encore liés les uns aux autres par les *illoires* qui s'étendent le long des ponts depuis l'avant jusqu'à l'arriere, & qui passent par le bord des *écoutilles* ou de ces grandes ouvertures quarrées qu'on fait dans les ponts pour pouvoir descendre dans le fond du Navire ou dans *la cale*. C'est principalement l'avant & l'arriere qui ont besoin d'être fortifiés. Outre le grand nombre d'allonges d'écubier qui en se touchant soutiennent la prouë contre le choc de l'eau, on place derriere des pieces horisontales qu'on nomme *guirlandes*, & on met derriere l'étrave une autre piece de bois qu'on nomme la *contre-étrave*. L'étambot a aussi son *contre-étambot*, mais qui est en dehors; & toute l'arcasse est soutenue, non-seulement par les barres ou lisses dont j'ai déja parlé, mais aussi par d'autres pieces, *les montans d'écusson* qu'on place à peu près verticalement. Au-dessous des baux qui soutiennent les ponts & qu'on met ordinairement à trois pieds de distance les uns des autres, on en met encore souvent d'autres dans la cale, qui n'ont d'autre usage que de lier davantage le Navire, & ce sont les *faux baux*. Dans les Vaisseaux de guerre aux environs de la *flotaison* en dessus & en dessous de la surface de l'eau, on insere aussi entre les membres d'autres allonges qu'on nomme *estacades*, de maniere qu'il ne reste aucun vuide. Il est vrai qu'on ne se propose par ces

La contre-quille. *La carlingue.* *Les vegres ou serres.* *Les goutieres & serres-bauquieres.* *Les illoires.* *Les écoutilles.* *Guirlandes.* *Contre-étrave.* *Contre-étambot.* *Montans d'écussons.* *Les faux baux.* *Les estacades.*

dernieres pieces, que de rendre la carène assez forte pour qu'elle soit à l'épreuve du canon. Mais enfin on prend à tâche de faire entrer tant de bois & une si prodigieuse quantité de fer dans la construction des Vaisseaux, qu'on ne peut pas s'empêcher de reconnoître que toutes nos entreprises sont bien foibles ; puis qu'aussitôt que par les suites d'une mauvaise navigation, on va rencontrer quelque écueil ou qu'on se trouve seulement engagé entre des rochers ; il ne faut qu'un seul instant, deux ou trois minutes, pour briser en mille pieces cet ouvrage fait avec tant de soin, & rendu, ce semble, si solide.

CHAPITRE IV.

Des différentes pratiques que suivent les Constructeurs pour tracer la coupe des Vaisseaux, faite perpendiculairement à leur longueur dans l'endroit le plus gros.

DE tout tems les Constructeurs se sont faits quelque régle pour tracer la coupe du Vaisseau, faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros; c'est-à-dire, pour tracer la maîtresse couple, la maîtresse varangue ou le premier gabari. Le nom de coupe dans la construction est appliqué particulierement à celles qui se font perpendiculairement à la longueur du Navire, & la premiere c'est la plus grande de toutes, c'est celle qui indique la figure du maître gabari ou de la maîtresse couple. On l'a presque toujours formé de portions de cercles; mais avec plus ou moins d'adresse : car ne faisant pas toujours attention que pour que deux arcs de cercle se touchent sans se couper, il faut que leurs centres soient sur la ligne droite qui passe par leur point d'attouchement, on a souvent donné, sans aucune nécessité, des angles sensibles au contour de la premiere coupe, ou du premier

gabari ; au lieu de l'arrondir insensiblement par tout. C'est ce qui rend préférable l'opération qu'a enseigné le P. Fournier il y a plus d'un siécle, à plusieurs autres pratiques qu'on a proposées depuis.

PREMIERE METHODE.

Fig. 3. Le P. Fournier après avoir tiré la droite AB (Fig. 3.) qui représente la longueur du *maître bau*, décrit un cercle RANB qui a cette ligne pour diamétre, & éleve au milieu de cette même ligne une perpendiculaire CD égale *au creux* ou à la profondeur qu'on veut donner au Vaisseau, laquelle, comme nous l'avons déja dit, se prend toujours de dessous le bau à la surface supérieure de la quille, qui est le terme de toutes les hauteurs, en fait d'Architecture Navale. Par le point D, il tire une ligne GH parallele à AB, & faisant DG & DH égales chacune au demi plat de la varangue, égales, si on le veut, au quart de la largeur du tout, il fait les petites perpendiculaires ou verticales GE & HF chacune égale à l'acculement. Ces petites perpendiculaires seront égales à la vingt-quatriéme, ou à la dix-huitiéme, ou à la douziéme partie de GH, &c. Après cela il cherche sur GE prolongée en haut & en bas, jusqu'en K & jusqu'en S, le point M qu'il faut prendre pour centre d'un arc de cercle NE qui touche en quelque point N le premier cercle, & en E la ligne droite EF. Enfin d'un point S pris pour centre, il décrit l'arc EO qui touchant la ligne droite EF, ou l'arc NE en E, vient se rendre exactement en O au bord de la quille. Il a de cette sorte ANEO pour le demi-contour de la coupe ; & il fait la même chose pour l'autre côté.

Il est vrai que ce bon Pere ne cherche les centres M & S que par le tatonnement ; mais rien n'empêche de les déterminer d'une maniere sûre & infaillible. Si on fait EK égale au rayon CA du premier cercle, ou égale au demi-bau, & qu'après avoir joint les points K & C par la droite CK on lui éleve dans son milieu L la perpendiculaire LM, cette perpendiculaire indiquera sur EK par son intersec-

tion, le centre M de l'arc NE. Car MC étant égale à MK, & EK ayant été faite égale à AC ou à NC, il est évident que MN sera égale à ME, & par conséquent l'arc de cercle décrit du point M comme centre & qui passera par le point E, viendra toucher le premier cercle en N. A l'égard de l'autre centre S, il sera tout aussi facile de le déterminer. Il n'y a qu'à tirer la droite EO, & lui élever en son milieu une perpendiculaire; cette perpendiculaire rencontrera IG prolongée en bas dans le point S, qui doit servir de centre à l'arc EO. Je laisse à part la méthode dont le même Auteur veut qu'on forme les allonges AQR, quoi qu'il ne paroisse qu'il n'y auroit souvent aucun inconvenient à s'en servir. Il décrit AQ, en prenant le point I pour centre, & il donne à QR un rayon de même longueur.

SECONDE METHODE.

De notre tems plusieurs Constructeurs tracent encore comme le P. Fournier, un cercle ANFB (Fig. 4.) qui a la longueur entiere AB du bau pour diamétre. Mais après avoir formé un rectangle ABIL, qui a pour largeur la longueur du bau, & pour hauteur le creux ou la profondeur CD qu'il s'agit de donner au Vaisseau, ils cherchent sur la diagonale LC le centre M de l'arc de cercle NY, qui touchant le premier cercle en N, passe par l'extrémité E du plat de la varangue dont DG n'est que la moitié & GE l'acculement. Pour trouver le centre M, ils n'ont qu'à tirer une droite NE & lui élever en son milieu une perpendiculaire qui viendra indiquer par son intersection avec la diagonale le centre requis M. Ils prolongent l'arc NE jusqu'au point Y qui est dans la même verticale MY que le centre M; & tirant en Y une horisontale YP ou une parallele à AC ou LD, cette ligne est tangente à l'arc NY, & il ne faut plus que décrire un autre arc PO, qui ayant son rayon égal à MN ou à MY, touche la droite YP, & vienne se rendre au bord O de la quille, dont OD est la demie largeur. Pour trouver geométriquement le centre X, Fig. 4.

Fig. 5. de façon que MV soit deux fois plus grande, ou que YV soit égale à MY: on tirera par le point V la ligne horisontale VX, & si du point O comme centre & de l'intervale OX égal à YV pour rayon, on décrit un petit arc de cercle X, il coupera la ligne VX dans le point X qui doit servir de centre à l'arc requis. Ainsi la courbure ANYPO de la premiere coupe du Vaisseau, se trouve formée selon cette méthode, de deux arcs de cercle AN & NY, d'une petite portion de droite YP & d'un dernier arc PO; & l'autre côté se fera de la même maniere, comme il est évident.

Il ne restera plus qu'à tracer la partie AR qui est l'allonge de revers. On la forme ordinairement de deux arcs égaux AQ & QR qui se touchent en Q & qui y font comme un point d'inflexion, parce que les deux arcs tournent leur convexité de différens côtés. Il n'y a pour cela qu'à tirer la droite AR, & si au milieu des deux portions AQ & QR, on leur éleve des perpendiculaires, elles viendront rencontrer AB & l'horisontale RZ dans les points T & Z qui seront les centres des arcs AQ & RQ. Il arrive souvent dans les plus grands Vaisseaux que l'allonge AR est quatruple de sa rentrée SR; & dans ce cas particulier les rayons QT & QZ sont égaux à la longueur même AR de l'allonge.

Il faut remarquer que presque toutes ces pratiques ont besoin de quelque modification, selon les diverses applications qu'on en veut faire. On voit, par exemple, qu'il faut dans la seconde que le creux du Navire soit considérablement moindre que la moitié de la plus grande largeur, ou qu'il faut que l'acculement GE soit assez grand pour que le point E se trouve au dedans du premier cercle ANKB. Car sans cela il faudroit rendre l'arc NE, qui représente le genoux de fond, concave en dehors dans la maîtresse couple même; ce qui seroit certainement contraire à l'intention des Constructeurs.

Digitized by Google

TROISIE'ME METHODE

Pour les Navires à plates varangues.

Les deux méthodes précédentes & celles qu'on peut imaginer aisément sur le même modéle, peuvent être employées dans les Vaisseaux qui tiennent le milieu entre les Frégates & les Bâtimens de transport. Tels sont les Vaisseaux de Ligne, qui à cause du poids de leur nombreuse artillerie tiennent un peu des Bâtimens de charge, & qu'on tâche néanmoins de faire ressembler le plus qu'on peut aux Frégates par la carène, afin de leur en concilier la légereté & la promptitude de la marche. On a aussi d'autres pratiques pour les autres especes de Navires. Dans les Bâtimens de transport on rend la carène plus grosse, & on diminue pour l'ordinaire leur creux, comme je crois l'avoir déja dit, en ne le faisant que les quatre neuviémes de la longueur du bau ou de la plus grande largeur de la coupe; & pendant que le plat de la varangue est toujours la moitié de cette même largeur, l'acculement n'est qu'une vingt-quatriéme partie de la moitié du plat ou une quatre-vingt-seiziéme de la longueur du bau.

Nous emprunterons la méthode que nous allons expliquer, qui sert pour ces sortes de Navires, d'un homme de Brest, dont on ne peut guéres citer le nom * sans éloge, & qui eût pû mieux qu'un autre perfectionner l'Architecture Navale, si sa santé le lui eût permis. On en peut juger aisément par un recueil manuscrit qu'il a fait de la plûpart des pratiques des Constructeurs, lequel se trouve entre les mains de plusieurs personnes dans la Marine. Il est vrai qu'il nous transmet ces pratiques précisément comme il les a reçûes, sans même les corriger de ces sortes d'irregularités ou fautes sensibles que nous avons déja fait remarquer plus d'une fois. Mais il examine avec succès les propriétés géométriques des lignes courbes qu'on s'est avisé de faire entrer jusqu'à présent dans la figure des Vaisseaux; il détermine leurs tangentes, leurs points d'infle-

* M. de Pulmi.

xion, & autant que je m'en ſouviens, il en rectifie quelques unes. Malheureuſement il ne va pas plus loin; & ſoit qu'il n'en ait pas ſenti la néceſſité ou qu'il n'en ait pas eu le tems, ce qu'il y a plus lieu de croire, il s'eſt arrêté à cet examen abſtrait des propriétés géométriques des diverſes courbes, ſans ſe tourner du côté de leurs propriétés Phyſiques ou Mécaniques, quoi qu'elles ſoient, comme il eſt évident, les ſeules qui faſſent réellement au ſujet.

Fig. 5. & 6. Il forme un rectangle ABIL (Fig. 5.) qui a toujours pour largeur la longueur du bau & pour hauteur le creux du Navire. Il détermine en E & en F les extrémités du plat de la varangue dont GE & HF ſont l'acculement, & il forme enſuite un quarré (Fig. 6.) qui a ſes côtés égaux à LG ou à KE, & il inſcrit au-dedans deux quarts de cercle AQE & AXE. Il diviſe après cela l'arc AXE de l'un, en un certain nombre de parties égales AV, VX, XY, YZ, &c. & abaiſſant des points de diviſions des perpendiculaires VO, XN, &c. ſur le rayon AK; il diviſe dans le même nombre de parties égales entr'elles le creux AK du Vaiſſeau (Fig. 5.) diminué de l'acculement de la maîtreſſe varangue, & tranſportant vis-à-vis des derniers points de diviſions O, N, &c. les parties OS, NR, MQ, &c. interceptées dans la figure 6 entre le rayon AK & l'arc de cercle AQE, il ne lui reſte plus qu'à faire paſſer la courbe AR par les extrémités de toutes les perpendiculaires ou ordonnées OS, NR, &c. & il a le demi-contour de la premiere coupe. Il eſt vrai qu'il faut encore achever ED; mais on peut le faire avec un ſimple arc de cercle qui touchant la premiere courbe en E, viendra ſe joindre au bord de la quille vers D; & il n'y aura qu'à faire préciſement la même choſe pour l'autre côté.

QUATRIE'ME METHODE

Pour les Navires auſquels on veut donner beaucoup de façons.

Quoi qu'on puiſſe par les ſeuls moyens que nous venons d'expoſer, en y changeant ſeulement quelque choſe, former

Digitized by Google

mer le premier gabari des Vaiſſeaux auſquels on veut donner beaucoup de façons, ou dont on veut rendre la carène très-fine; nous indiquerons une méthode particuliere pour cela. Ayant formé, comme à l'ordinaire, le rectangle ABIL (Fig. 7.) deſtiné à renfermer toute la partie de la coupe qui eſt au-deſſous du maître bau AB, il n'y a qu'à faire l'acculement GE ou HF de la maîtreſſe varangue égal à la cinquiéme ou à la ſixiéme partie de ſon plat GH, ou égal à la dixiéme ou douziéme partie de la longueur entiere AB du bau. C'eſt là le plus grand acculement que les Conſtructeurs ſoient ſujets à donner aux Vaiſſeaux; au lieu que, comme nous en avons déja averti, ils le diminuent quelquefois juſqu'à le détruire entierement. Les points E & F étant déterminés, il ne reſte plus qu'à tracer deux portions de paraboles AE & BF, dont les ſommets ſoient en A & en B & qui ayent AC & BC pour axe; & à l'égard du plat même de la varangue, on le formera par deux arcs de cercles, dont l'un tournera ſa convexité en bas & l'autre en haut. Fig. 7.

La parabole eſt une courbe employée ſouvent dans l'Architecture Navale; on l'y trace pour l'ordinaire par le moyen d'une ligne droite, diviſée, ſelon une ſuite de termes, en progreſſion arithmetique. D'autres Conſtructeurs ſe contentent de déterminer deux ou trois points par des nombres qu'ils ſçavent par cœur, & achevent enſuite la courbe comme ils peuvent: de ſorte qu'on n'employe preſque jamais la méthode qui ſeroit la plus naturelle dans la circonſtance préſente. La maniere dont il nous faudra traiter ſouvent ce ſujet dans la ſuite, ne nous diſpenſeroit que trop de rapporter ici cette méthode; mais on le fera néanmoins en vûe d'un plus grande utilité. Il s'agit de faire paſſer une parabole AQE par le point donné E, qui ait ſon ſommet en A & la droite AC pour axe. Ayant abaiſſé du point E les perpendiculaires EK & EM ſur AL & ſur AC, je mets ſur AC, prolongé indéfiniment vers N, le centre d'un demi-cercle MKN qui paſſe par les points K & M, & la ligne AN ſera le parametre de la parabole, lequel ſer-

Fig. 7. vira à trouver les autres points de cette courbe, & en aussi grand nombre qu'on voudra. Est-il question de sçavoir par quel point doit passer cette courbe exactement au-dessous du point P ou par la ligne verticale PQ ? On cherchera sur AN le centre du demi-cercle NOP, qui partant toujours du point N, vient se rendre au point P. Ce demi-cercle rencontrera AL en O, & AO marquera la quantité dont la courbe passera au-dessous du point P ; de sorte que si on tire l'horisontale OQ, le point Q où elle coupera la verticale PQ, appartiendra à la parabole. On trouvera de la même maniere une infinité d'autres points.

Afin que le premier arc de cercle dont on formera le plat de la varangue, ne fasse point d'angle en E avec la parabole, & ne fasse que la toucher, il faudra que son centre soit situé en quelque point S de la perpendiculaire ER à la parabole. Pour tirer cette perpendiculaire, il n'y aura qu'à faire, comme le sçavent tous les Géométres, la soûnormale MR égale à la moitié du paramétre AN.

CHAPITRE V.

Méthode de tracer les deux coupes du Vaisseau aux deux extrémités de la quille, avec la maniere ancienne dont on se servoit des lisses pour achever le Navire.

I.

De la coupe de l'arriere.

COMME la forme de la poupe ou de l'arriere contribue moins aux bonnes ou mauvaises qualités du Vaisseau, il importe moins comment on en trace la derniere
Fig. 8. coupe. Dans la figure 8 l'étambot est représenté par CD ; & la lisse d'hourdy par AB qui est placée dans l'endroit le plus large de l'arriere & ordinairement à l'extrémité de l'étambot. La hauteur de cette derniere piece dépend de

diverses considérations qui sont purement de convenance; mais il *est* certain que la hauteur à laquelle on place la lisse d'hourdy, au lieu d'être réglée sur la longueur de la quille ou sur celle du bau, ne le devroit toujours être que sur le creux ou sur la profondeur qu'on veut donner au Navire, dont elle dépend immédiatement. L'endroit le plus large ou le fort du Navire vers l'arriere, est toujours beaucoup plus haut que vers le milieu ou que dans le premier gabari; il l'est presque d'une moitié plus, & au moins d'un tiers. Ces deux hauteurs sont dans presque tous les Vaisseaux comme 10 est à 14 ou à 15. Ainsi on peut remarquer en passant, que le premier pont qui répond à l'endroit le plus large, ou au *fort*, vis-à-vis de *la maîtresse couple*, ne s'éleve pas encore assez vers la poupe pour se trouver aussi haut que les endroits les plus larges. * Fig. 8.

Cela supposé, des deux points F & G qui sont au milieu des deux moitiés AC & BC de la lisse d'hourdy, on décrit comme centre deux arcs de cercle AH & BI par les extrémités A & B. Du point E où se terminent les façons de l'arriere, qui ont pour l'ordinaire de hauteur DE les $\frac{2}{3}$ du creux du Navire, on tire ensuite les deux lignes droites EH & EI, tangentes à ces deux arcs; & il n'y a plus qu'à prendre des deux côtés de l'étambot deux points L & N un peu au-dessous de E & faire disparoître les angles en E par deux petits arcs qui touchant les deux tangentes, viennent se rendre à ces deux points. Alors tout le gabari de l'arriere sera tracé au-dessous de la lisse d'hourdy: son contour sera AHKLNMIB.

* Voyez ce que nous disons de la hauteur du pont dans le Chap. 3.

La partie supérieure AQOPRB aura plus ou moins de hauteur, selon le nombre d'étages que doit avoir la poupe; mais les Constructeurs font presque toujours la largeur OP égale aux trois quarts de la longueur de la lisse AB; puisque pendant que cette lisse est les $\frac{2}{3}$ du bau, le couronnement OP en est presque toujours la moitié. On tire deux lignes droites AO & BP qu'on divise chacune en trois parties, & la premiere ou celle d'en bas AQ d'un côté & BR de l'autre, servent de cordes aux deux

Fig. 8. arcs AQ & BR qui tournent leur convexité en dehors; pendant que le haut est formé de deux autres arcs QO & RP qui tournent leur convexité en dedans & qu'on décrit presque toujours avec un rayon deux fois plus grand. Le tout forme le dernier gabari de l'arriere qu'on nomme, comme je l'ai dit, les estains ou les cornieres. Dans tout ceci les Constructeurs se permettent divers changemens pour procurer un plus grand ornement à leur ouvrage, mais que les Géométres ne se resoudroient, sans doute, qu'avec peine à prendre pour objet de leurs examens.

I I.

De la figure de la coupe de l'avant.

On peut former à peu près de la même maniere le gabari qui se place en avant à l'extrémité de la quille. On suit pour le tracer différentes pratiques, que nous ne nous arrêterons pas à specifier scrupuleusement: nous nous contenterons en les changeant en d'autres plus naturelles, de rendre précisément les mêmes figures. L'endroit du fort ou de la plus grande largeur de chaque gabari en avant, se place aussi de plus haut en plus haut dans les gabaris qui sont plus vers la prouë; mais le changement ne se fait pas par de si
Fig. 9. grands dégrés que vers l'arriere. La hauteur DC (Fig. 9.) de la plus grande largeur de la coupe faite à l'extrémité de la quille du côté de la prouë, ne surpasse le *creux* ou la profondeur prise dans le plan du premier gabari, tout au plus que d'une septiéme partie, & souvent de deux fois moins. La plus grande largeur AB de cette même coupe est dans les Frégates & dans les Vaisseaux d'une cinquiéme ou d'une sixiéme partie moindre que le maître bau ou que la largeur de la premiere coupe, & seulement moindre d'une huitiéme partie dans les Bâtimens de charge.

Toutes ces choses étant réglées, on prendra pour centre de l'arc AH le point F, qui est au milieu de AC, ou un point plus voisin de A, & qui ne soit qu'au tiers de AC si on veut diminuer le renflement de la prouë. Du point E qu'on fera

Digitized by Google

monter auſſi plus ou moins le long de DC, juſqu'à le faire parvenir au quart de cette hauteur, on tirera la tangente EH à l'arc déja décrit, & il ne reſtera plus qu'à décrire avec un rayon égal à DC un autre arc KL qui touche la tangente en K & qui vienne ſe terminer en L au côté de la quille. Pour trouver le centre de ce dernier arc, on tirera une parallele ST à la tangente EH qui en ſoit éloignée d'une diſtance égale à CD, mais qu'on pourroit auſſi ſans inconvenient rendre plus grande ou plus petit, & décrivant du point L comme centre, & avec le même intervale, un petit arc de cercle Y, cet arc coupera la ligne ST dans le point Y qui ſera le centre de l'arc requis KL. On fera la même choſe pour l'autre côté & on aura de cette ſorte le contour entier AKLNMB du gabari de l'extrémité de la quille du côté de l'avant. Les allonges de revers & BRP ſe formeront par deux arcs de cercle, comme dans le premier gabari; avec cette ſeule différence, qu'on leur donnera un peu moins de *rentrée*; & qu'il faudra auſſi les rendre plus longues à cauſe de la hauteur qu'ajoute au Navire le gaillard ou le château d'avant. Fig. 9.

III.

Avec le peu de régles que nous venons de donner, & ſouvent avec beaucoup moins, les Conſtructeurs ont bâti pendant long-tems leurs Vaiſſeaux; & il y en a encore quelques-uns qui ne croyent pas avoir beſoin de plus grands ſecours. En Hollande les maximes qu'on y obſerve preſque toujours ne déterminent pas davantage la figure du Navire: c'eſt à l'Ouvrier à conduire preſque tout ſon ouvrage à l'œil. La même choſe arrive en Eſpagne où il fut ordonné en 1721 de ſe conformer à des régles qui ne différent que peu des précedentes, ſi ce n'eſt qu'elles laiſſent la figure de la carène encore plus indéciſe; & ne donnent pas plus lieu de conſtruire de bons Navires que d'en conſtruire de très-mauvais, malgré les ſuccès heureux qu'on leur a attribué. * Les trois principaux gabaris étant formés & les couples achevées, on les place dans les endroits de la

* *Proporciones de las medidas mas eſſenciales dadas por el Theniente general de la Armada real del Mar occeano Don Antonio de Gaſtañeta de orden del Rey para la Fabrica de Navios y Fregatas de guerra, &c.*

quille où elles doivent être, c'est-à-dire, la maîtresse couple aux cinq douziémes de la quille à commencer de l'avant, ou dans quelqu'autre point conformement à l'usage dominant, & les deux autres aux deux extrémités. On ne fait plus ensuite que tendre de longues tringles ou regles de bois flexibles d'une couple à l'autre, & on apprend par les contours qu'elles prennent les dimensions ou les diverses largeurs qu'il faut donner aux couples intermediaires. Ces longues tringles larges de 2 ou 3 pouces, dont on se sert encore continuellement, se nomment *lisses*, qu'il faut bien distinguer de ces grosses poutres de même nom, dont on fortifie la poupe & qu'on met perpendiculairement à l'étambot. La premiere des lisses dont il s'agit actuellement, se nomme la *lisse des façons*; elle part de la hauteur des façons sur l'étambot, elle passe par l'extrémité du plat de la premiere varangue & vient se rendre sur l'étrave à la hauteur des façons. On entend assez qu'il y a deux de ces lisses; l'une d'un côté du Navire, & l'autre de l'autre: nous n'en avons représenté qu'une dans la figure premiere pour éviter la confusion; c'est ONMLK. Deux autres lisses passent par les endroits les plus larges de toutes les coupes & se nomment les *lisses du gros* ou du *fort*, nous n'en avons encore ici marqué qu'une TXH. Deux autres lisses passent par les points d'inflexion de toutes les allonges de revers que nous n'avons point représentées, non plus que les *deux lisses moyennes* qu'il y a de chaque côté entre la plus basse ou la lisse des façons ONMLK & la lisse du fort THX. Pour placer ces *lisses moyennes*, on divise en trois parties égales sur les estains, sur la maîtresse couple & sur l'étrave les intervales qu'il y a entre les deux premieres lisses déja placées, & on fait passer d'une extrémité du Vaisseau à l'autre les deux dernieres lisses par les points de division.

Il est vrai que comme les anciens Constructeurs n'avoient que quatre points ou seulement trois pour situer chaque lisse, ils pouvoient en les tendant plus ou moins, leur donner diverse convexité; mais leur grande attention

Digitized by Google

étoit d'empêcher qu'elles formassent des angles dans leur courbure, ou de faire qu'elles se trouvassent pliées par tout insensiblement. Toute la figure du Vaisseau se trouvoit indiquée de cette sorte, & il étoit facile de voir ensuite comment il falloit former toutes les coupes qui devoient être placées en avant & en arriere du premier gabari. Quelque bien conduit que fût l'ouvrage, il falloit souvent y retoucher un peu; enlever du bois d'un membre pour diminuer sa convexité, & quelquefois y appliquer des especes de coins pour en augmenter le renflement. Cependant le Vaisseau qui dans ces derniers tems a été regardé comme un chef d'œuvre dans son genre & qu'il seroit à souhaiter qu'on eût depuis pris pour modéle dans la construction des Vaisseaux du premier rang, *le Royal Louis* * qu'on a été obligé de défaire de notre tems à Brest, à cause de sa caducité, n'avoit été bâti que de cette maniere, ce semble, si hazardée. Il est triste que les Constructeurs ne puissent pas travailler pour la posterité, comme les Architectes ou les Sculpteurs. Tout ce qu'on pouroit faire de plus, lorsqu'ils ont réussi parfaitement, ce seroit de perpetuer leurs Vaisseaux en les remplaçant par d'autres construits précisement sur les mêmes gabaris, & qu'on regardât toujours, comme l'ouvrage du premier Maître. Il eût encore été plus utile que juste de rendre cet honneur à l'habile ouvrier du Royal Louis.

* Vaisseau construit à Toulon en 1692, par François Coulon.

Cette méthode toute imparfaite qu'elle étoit de construire les Vaisseaux, valoit incomparablement mieux que celle qu'on a voulu lui substituer dans la suite. * On prétendoit suivre une opération particuliere pour trouver la figure de chaque couple intermediaire, & on en devoit mettre d'abord un certain nombre limité, sur lesquelles les autres seroient reglées. On avoit une méthode pour tracer la premiere, une méthode différente pour tracer la seconde, la troisiéme, &c. mais comme ces opérations étoient indépendantes les unes des autres, quoi qu'on tachât de mettre entr'elles le plus d'affinité qu'il se pouvoit, il arrivoit toujours que l'assemblage de toutes les coupes

* Dans *l'Architecture Navale* de M. Dassié, & dans le *Resumen Nautico de lo que se pratica en el Theatro Naval*, &c.

ne formoit point enſuite une ſurface reguliere, & qu'il s'en falloit extrémement que les courbures du Vaiſſeau fuſſent exemptes de ſaults, & conduites par des degrés reglés. Nous avons la principale obligation à M. le Chevalier Renau d'avoir remedié à cet inconvenient, en donnant le moyen de rendre tous les gabaris dépendans les uns des autres. M. le Maréchal de Tourvile, aidé du P. Hoſte dont nous avons un Livre ſur la Théorie de la conſtruction, y a auſſi je crois contribué.

Si les liſſes ont perdu de cette ſorte une partie de l'ancien uſage qu'elles avoient, elles ne l'ont pas perdu entierement, & elles en ont acquis un autre, comme on le verra dans la ſuite & qui eſt même, ſi on le peut dire, plus noble. Elles ſervent toujours aux Conſtructeurs à reconnoître ſi les couples élevées ſur la quille ne forment point les unes par rapport aux autres, quelques irregularités ſenſibles; & elles aident outre cela à ſituer les bordages dont elles marquent la direction. On les ôte à meſure qu'en *bordant* on parvient juſques à elles; de ſorte qu'elles ne reſtent en place que pendant qu'on travaille à l'ouvrage.

CHAPITRE VI.

Remarques générales ſur les liſſes, avec le moyen de former l'arriere du Vaiſſeau en rendant toutes les coupes verticales faites perpendiculairement à ſa longueur dependantes de la premiere & de celle de l'extrémité.

I.

ON projette pour l'ordinaire ſur la premiere coupe ou ſur le maître gabari non-ſeulement les deux coupes des deux extrémités du Vaiſſeau; mais auſſi toutes les autres qui ſont intermediaires. C'eſt ce que repréſente la figure 10, dans laquelle IGD2G2I eſt le premier gabari ou
Fig. 10.
la

la coupe du Navire faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros. PmD est la moitié du gabari de l'avant ou de la coupe faite à l'extrémité de la quille du côté de la prouë, & XTR est la moitié du dernier gabari de l'arriere, ou le demi-contour de la poupe vûë d'une distance infinie dans le prolongement de la longueur du Vaisseau. On ne met ainsi que les moitiés de toutes les coupes du Navire, excepté de la premiere, ou de la plus grande qu'on trace entiere; afin d'avoir toute la forme du Vaisseau dans une seule figure ou dans un seul plan; la partie de la prouë d'un côté & la partie de la poupe de l'autre. On voit aussi dans ce plan, non pas *les lisses*, mais leurs projections: EKΔ marque la projection de celle *des façons* du côté de l'avant & A*n*W la projection de la *lisse du fort*; HO des points d'inflexion & IP du *plat-bord*, c'est-à-dire, du haut du flanc du Navire. Du côté de la poupe; 2ER est la lisse *des façons*, & 2AV celle *du fort*. Il est évident que toutes ces lignes ne sont pas les lisses mêmes, mais leurs projections: car il faut remarquer que si elles vont d'un gabari à l'autre, si la lisse du fort, par exemple, du côté de la prouë va du point A au point *n*, ces deux points sont réellement dans des plans différens & éloignés l'un de l'autre des cinq douziémes de la longueur de la quille. Ainsi supposé que la lisse fût une ligne droite au lieu d'être une ligne courbe, elle seroit l'hypothéneuse d'un triangle rectangle dont un côté seroit A*n*, & l'autre la distance entre les deux coupes. Fig. 10.

C'est ce qu'on verra encore mieux en jettant les yeux sur la Figure 11, qui représente toute la partie de la prouë depuis le maître gabari ou la premiere coupe AFD2A2. La ligne D1D2 représente la partie de l'avant de la quille & DI*v* est l'étrave, qui est un arc de cercle d'environ 70 dégrés, qui a son rayon égal à la hauteur même de l'étrave. On voit sur la premiere coupe la projection *nm*D2 de la coupe NLD1, qui est à l'extrémité de la quille, & j'ai marqué aussi les projections A*n*W, G*m*Z, FI&3, &c. de toutes les lisses, quoique je n'aye représenté réellement qu'une Fig. 11.

Fig. 10. & 11. seule lisse GMζ, celle qui est immédiatement au-dessous de celle *du fort*. Cette lisse, comme on voit, est une ligne courbe dont ζzZ est l'axe & qui a pour ordonnées les intersections Mz, GZ, &c. de son plan avec celui de chaque coupe, ou ses propres projections sur ces mêmes coupes. Malgré cette extrême différence qu'il y a entre une ligne courbe & ses ordonnées, entre les lisses & les lignes droites qui les représentent, nous donnerons quelquefois, pour éviter la longueur du discours, & je crois l'avoir déja fait, le nom de lisses à ces lignes droites. Au reste on voit aussi dans la même figure, que nous avons divisé en trois parties égales la distance *v*∂ des lisses du fort & des façons sur l'étrave *v*D1 pour trouver les points ζ & *&* où doivent venir se rendre les deux lisses moyennes & que la distance AE sur la premiere coupe, est également partagée en trois parties égales par ces mêmes lisses.

Il se présente ici une remarque importante qui étonnera sans doute les Constructeurs, de même que toutes les autres personnes qui ont quelque connoissance de l'Architecture Navale. Les lisses marquées par des lignes droites dans le plan & qui servent à l'achever, ne répondent point exactement, contre ce qu'on a pensé jusqu'à présent, aux lisses placées de la maniere ordinaire sur le Vaisseau. Ces dernieres, comme je l'ai déja dit, sont de longues régles de bois qu'on applique sur la surface convexe que forment ensemble les membres, & qu'on ne fait plier qu'autant qu'il est nécessaire, pour imiter la courbure de la surface, sans se permettre de les faire détourner à droite ou à gauche; de sorte qu'on s'efforce, pour ainsi dire, de les rendre dans leur courbure, les plus droites qu'on peut. Si on leur donnoit toute autre situation, elles perdroient l'usage qu'elles ont d'indiquer la situation des bordages; & outre cela on ne sçauroit comment les courber. Mais il suit de là qu'elles sont placées selon les lignes courbes connues des Geométres, lesquelles marquent la moindre distance d'un point à un autre sur une surface courbe, & qu'elles sont donc des courbes à doubles courbures, excepté dans

très-peu de cas, mais qui n'ont point encore eu lieu dans la construction; comme lorsque la surface est celle d'un conoïde au sommet duquel les lignes vont se terminer. Hors de ce petit nombre de circonstances, plus on entreprend de rendre droit un fil ou quelqu'autre corps flexible sur une surface courbe, plus on est sûr de le courber en différens sens, parce qu'on l'oblige à suivre la surface dans tous ses contours : il faudroit travailler exprès à l'écarter de la direction qu'il tend à prendre, lorsqu'il passe sur les endroits penchans de la surface, pour qu'il ne fût courbe que dans un seul sens ou pour que sa projection put être une ligne droite.

Les Lecteurs qui faute de Géométrie ne voyent pas avec assez d'évidence la vérité de ce que nous avançons ici, peuvent s'en assurer aisément, à l'égard des lisses placées, comme on les place toujours. Ils n'ont qu'à les regarder d'une certaine distance, & chercher s'il y a un point d'où elles paroissent des lignes parfaitement droites; & ils verront que non. C'est aussi à cette différence qu'il faut attribuer l'embarras où se trouvent quelquefois les Constructeurs, qui sans en connoître la cause, ne sçauroient concilier certaines mesures prises dans leur plan & sur le Vaisseau, & qu'ils rapportent aux lisses qu'ils croyent toujours parfaitement correspondantes. On peut néanmoins continuer à se servir des unes & des autres, pourvû qu'on ait soin de les bien distinguer; celles qui répondent dans le plan à des lignes droites & qui ne sont autre chose que les sections de la surface convexe de la carène, faites par des plans perpendiculaires au premier gabari, comme l'est la ligne ζMG dans la figure 11; & les lisses effectivement placées pendant la construction du Navire, sur la surface que forment les membres, lesquelles sont toujours doublement courbes. Fig. 11.

Cette distinction entre les lisses étant admise; si nous voulons assujettir la figure de toutes les coupes intermédiaires du Vaisseau, à celle de la premiere & à celle des deux autres coupes qui sont aux extrémités de la quille,

nous n'avons qu'à donner aux liſſes dont le Plan exprime les projections, une courbure reguliere plus ou moins convexe, ſelon qu'on voudra renfler plus ou moins la carène. La premiere courbure qui ſe préſente eſt celle du cercle; mais elle eſt difficile à décrire en grand, & c'eſt pour cette raiſon, ſans doute, qu'on employe plus ſouvent, ou des ellipſes ou même des courbes tranſcendantes qui ſont plus faciles à former. Un très-grand arc d'ellipſe ſe décrit plus aiſément qu'un arc de très-grand cercle; parce que pour décrire ce dernier, il faut avoir ſon centre qui ſe trouve à une grande diſtance, ou bien il faut avoir recours à quelques autres expédiens difficiles à employer dans la pratique; au lieu qu'on peut au contraire décrire un très-grand arc d'ellipſe, en décrivant un aſſez petit arc de cercle dont on emprunte les ordonnées, qu'on ne fait que mettre à beaucoup plus de diſtance les unes des autres qu'elles n'étoient dans le cercle. La ſeconde ligne que les Conſtructeurs employent enſuite le plus volontiers, eſt celle des ſinus, mais *allongée;* & ils la forment encore par cette tranſpoſition d'ordonnées qu'ils nomment *Réduction.*

II.

Fig. 10. & 12. Pour former l'arriere en donnant aux liſſes la courbure d'arcs d'ellipſes, ils décrivent un arc de cercle 2FA (Fig. 12.) dont le rayon eſt triple de la plus grande liſſe projettée 2FS ſur la premiere coupe, & qui a pour ſinus verſe 2FS la longueur même de cette projection. C'eſt-à-dire que la ligne 2FS dans la figure 12 doit être de même longueur que 2FS dans la figure 10, & qu'avec un rayon trois fois plus grand & en plaçant le centre ſur 2FS prolongée, on décrit l'arc 2FA juſqu'à la rencontre de la perpendiculaire ou du ſinus droit SA. On diviſe AS en autant de parties égales, qu'on veut déterminer la figure de différentes coupes entre la premiere & la derniere poſée à l'extrémité de la quille. Nous nous ſommes contentés ici pour ne point rendre notre figure trop confuſe, de diviſer ſeulement AS en ſept parties égales; mais dans les figures ou dans les

Plans que font les Constructeurs & dont les côtés ont plusieurs pieds de longueur, on doit pousser la division beaucoup plus loin. Il faudra ensuite des points de division élever des perpendiculaires à AS, ou tirer des paralleles à 2FS jusqu'à la rencontre du cercle, & ces dernieres lignes transportées sur 2FS, apprendront comment il faut diviser 2FS dans la figure 10, pour avoir les points par lesquels doivent passer les contours de toutes les coupes intermediaires. On fera la même chose pour toutes les autres lisses 2ER, 2GT, 2AV, &c. ou ce qui revient au même on les divisera proportionellement à 2FS; & joignant enfin par une courbe tous les points qui se répondent, les premiers points de toutes les lisses les uns avec les autres; tous les seconds points &c. on aura la figure des différentes coupes du Vaisseau faites entre l'arriere & le premier gabari. Il faut remarquer que ces différentes coupes doivent être à des distances égales les unes des autres sur la quille, parce qu'elles doivent partager toute la longueur de la poupe depuis la premiere coupe, de la même maniere qu'on a divisé la ligne SA de la figure 12. Fig. 10, & 12.

Pour diviser les autres lisses proportionnellement à la lisse moyenne 2FS (Fig. 12) on prend ordinairement un point K sur le prolongement de AS, dont on tire des lignes K2F, K1, K2, &c. à tous les points de division de 2FS, & il ne reste plus, comme il est évident, qu'à transporter la longueur des autres lisses parallelement à 2FS entre KS & 2FK pour qu'elles soient divisées en même rapport. Mais plusieurs Constructeurs n'admettent point cette proportionalité; ils divisent chaque lisse par une figure particuliere, ils font toujours 2FS égale à la lisse dont il s'agit; mais ils donnent différens rayons à l'arc 2FA. Pour la lisse des façons ils font le rayon triple; pour la premiere lisse moyenne ils le font $2\frac{2}{3}$ fois plus grand; pour la seconde lisse moyenne $2\frac{1}{3}$; pour la lisse du fort 2 fois; pour la lisse des points d'inflexion $1\frac{3}{4}$, & enfin ils le r'augmentent pour la lisse du *plat bord*, ou du bord du Navire, ils le font deux fois plus grand.

D'autres Constructeurs, au lieu de diviser AS en parties égales, divisent l'arc même 2FA, & achevent le reste comme ci-devant. Alors ils donnent aux lisses une courbure transcendante; puisqu'elle depend de la relation qu'il y a entre les arcs de cercle & leurs sinus. Les lisses imitent la *courbe allongée des sinus* dont nous avons déja parlé. Il est évident que quelque méthode qu'on suive, on n'a toujours qu'à rendre le rayon de l'arc 2FA plus petit, lorsqu'on veut courber davantage les lisses, ou renfler la carène. On lui donne le plus grand renflement, en faisant le rayon égal à la longueur même 2FS de la lisse projettée, & alors l'arc 2FA devient un quart de cercle.

CHAPITRE VII.

De la maniere de former toute la partie de l'avant du Navire.

I.

ON employe à peu près les mêmes moyens pour la prouë; mais on en rend toujours le renflement plus considérable, que celui de la poupe; & on vient à bout, pour ainsi dire, par deux arcs de cercles, de le multiplier. Ayant prolongé dans la figure 10 les projections des lisses jusqu'à la rencontre de la verticale DY, on fait un quart de cercle ZGO (Fig. 13) qui a pour rayon la longueur entiere GZ d'une des projections; on prend ensuite la portion Z*m* dans la figure 10, & on la met en forme de sinus en zM dans la figure 13, parallelement au rayon GZ. On prolonge l'autre rayon vers C, & on décrit un nouvel arc de cercle BZ, qui ayant son centre en quelque point C, a pour rayon ou une fois & demie Zz ou le double de cette même ligne Zz, selon qu'on veut donner plus ou moins de renflement à la prouë, & cet arc se termine à Mz prolongée jusqu'en B. Après cela on divise l'arc

Fig. 10. & 13.

BZ en autant de parties égales qu'on veut diviser la quille en avant du maître gabari, ou qu'on se propose de trouver la figure de différentes coupes en avant de la premiere. D'autres Constructeurs au lieu de diviser l'arc BZ en parties égales, le divisent en parties inégales, mais qui repondent à des parties égales du sinus Bz. Enfin conduisant des points de division D, E, &c. des paralleles à BM jusqu'à la rencontre du quart de cercle, on ne fait plus que transporter les parties PH, QI, &c. sur GZ, & cette ligne se trouve divisée de la même maniere que le doit être la lisse GZ dans le plan representé par la figure 10. C'est-à-dire qu'il faut mettre Z1 en Z1; Z2 en Z2, &c. pour avoir les points par lesquels doivent passer les contours des coupes de l'avant. Fig. 10. & 13.

Au lieu de faire une autre figure semblable à la treiziéme pour les autres lisses, souvent on les divise proportionnellement, du moins les parties interceptées entre la premiere coupe IGD & la derniere P*m*D; c'est-à-dire, qu'au lieu de porter les lisses entieres entre KG & KZ, on porte seulement leur partie comme A*n* entre K*m* & KG. Mais il faut remarquer que cela donne une autre forme à la prouë, que lors qu'on fait une figure particuliere pour la longueur entiere de la projection de chaque lisse.

II.

En suivant cette méthode & celle que nous avons expliquée dans le Chapitre précédent, tout le corps du Vaisseau se trouve déterminé, sçavoir la partie qui est comprise entre les deux coupes extrémes, placées aux deux extrémités de la quille. Il reste seulement à former l'extrémité de la prouë, ou à achever la partie qui est au-dessus de l'étrave, la partie ND1*v* de la figure 11. Comme cette partie n'est pas grande, qu'elle est le prolongement d'une surface déja formée, & qu'il faut qu'elle se termine à l'étrave qui est déja placée, les Constructeurs l'ont conduit à vûe d'œil; du moins je ne sache pas qu'ils ayent eu de méthode reguliere jusqu'à présent, pour l'achever, dans la circonstance dont il s'agit. La question se reduit à prolonger sur la

surface convexe de la carène les courbes qui forment les lisses: mais il faut remarquer qu'on ne peut pas continuer précisement les mêmes lignes; parce qu'elles iroient peut-être, se rencontrer ou en delà ou en deçà de l'étrave. Tout ce qu'on peut donc faire, c'est d'ajouter ou d'enter à l'extrémité de la courbe que forme déja la premiere partie de la lisse, une autre courbe qu'on choisira, qui lui soit tangente, & qui ait la courbure qui convient, pour venir se rendre à l'étrave.

Il n'est pas difficile de tracer sur un plan la courbe que forme la premiere partie de la lisse. S'il s'agit, par exemple, de la seconde lisse moyenne, nous avons ZG dans la figure 10 pour la plus grande ordonnée, & 1Z, 2Z, &c. pour toutes les autres qui doivent être arrangées à une égale distance les unes des autres, & à la même distance qu'il y a entre les coupes dont on a obtenu la figure. Ainsi si on tire une droite *z*Z (Fig. 14) égale à toute la partie de la quille qui est en avant du maître gabari, il n'y a après l'avoir partagée en parties égales, qu'à lui élever des perpendiculaires égales aux ordonnées que nous venons de specifier, & la courbe GHIM qui passera par leurs extrémités à toutes, représentera la courbure que prendra la lisse en partant du point G du premier gabari (Fig. 10.) pour se rendre au point *m* du gabari de l'avant, qui est à l'extrémité de la quille; elle marquera la courbure de la lisse même GM (Fig. 11.) Cette courbe étant tracée, (Fig. 14.) on pourra lui tirer mécaniquement une tangente au point M, & il faudra que cette tangente le soit aussi à la portion de courbe Mζ qu'on ajoutera à l'extrémité M de la premiere.

Fig. 10. & 14.

Supposé que cette tangente soit MN, & qu'on veuille achever la lisse par un arc de cercle, il n'y aura, comme le sçavent les Lecteurs, qu'à élever une perpendiculaire MS à cette tangente & ce sera sur cette perpendiculaire qu'il faudra mettre le centre de l'arc Mζ qui viendra rencontrer l'étrave en ζ. Il sera aussi toujours facile de sçavoir à quelle distance $z\zeta$ l'arc de cercle doit aller se terminer. Car

Digitized by Google

Car dans la figure 10 on a DZ pour la hauteur du point de rencontre de la lisse dont il s'agit & de l'étrave, & si on cherche dans la figure 1 ou dans la figure 11 ou dans la figure 19 faite exprès pour cela, le point ζ de l'étrave qui a effectivement cette hauteur, on pourra mesurer combien il est en dehors de l'extrémité de la quille, mesurer sa saillie ζz, & on aura l'intervale marqué par les mêmes lettres dans la figure 14. On pourra prendre enfin, à commencer du point z, des espaces d'une certaine grandeur, comme du quart ou de la cinquiéme partie de ceux qui ont servi à diviser la quille; & si on prend les ordonnées correspondantes, & qu'on les porte sur la projection Z*m* de la lisse dans la figure 10, à commencer du point Z, on trouvera les points par lesquels passeront les contours des coupes de la partie saillante de la prouë. On fera la même chose pour toutes les autres lisses; & on sera ensuite en état de tracer le contour de ces coupes particulieres. Je ne les ai pas représentées dans la figure 10, parce qu'elles ne sont pas à la même distance les unes des autres que le sont les premieres: mais on les voit dans la figure 15 qui n'appartient donc qu'à la seule partie saillante de la prouë, ou à la partie destinée à couvrir la poupe P*m*D de la figure 10.

III.

Tout ce qui paroît manquer ici pour la regularité de la méthode, c'est le moyen de tirer la tangente MN à l'extrémité M de la courbe qu'on veut prolonger par une autre ligne courbe. On peut sans doute dans l'usage ordinaire se contenter de tirer mécaniquement cette tangente; cependant je montrerai en peu de mots la maniere de la conduire géométriquement. Les ordonnées de la lisse (Fig. 11 & 14) ne sont autre chose, comme on le sçait, que les ordonnées même du quart de cercle GZO, (Fig. 13.) non pas appliquées aux divers points de l'arc ZB étendu en ligne droite, mais appliquées aux points d'une droite zZ (Fig. 14.) plus longue dans un certain rapport; mais nous

ſuppoſerons pour une plus grande facilité, que l'arc ZB de la figure 13 eſt égal à la droite zZ de la figure 14 ou de la figure 11. Ainſi tirant dans la figure 13 une parallele ϛμ infiniment proche de BM, on aura Bϛ pour la différentielle des abſciſſes, & Sμ pour la différentielle correſpondante des ordonnées; & puis qu'on ſçait que ces différentielles ſont entr'elles comme la soûtangente qui appartient à un certain point de la courbe eſt à l'ordonnée correſpondante, nous n'avons qu'à chercher leur relation reciproque, pour nous mettre en état de déterminer la soûtangente & de tirer la tangente. Si du point ϛ, on conduit la petite perpendiculaire ϛT à BM, la reſſemblance du grand triangle rectangle BzC & du petit ϛTB, donnera cette analogie BC | Bz || Bϛ | ϛT qui ſe trouve égale à $\frac{Bz \times B\varsigma}{BC}$, & c'eſt en même tems la valeur de SM. Mais la reſſemblance des deux autres triangles ZzM & μSM, nous donne cette autre analogie; Mz | Zz || SM $= \frac{Bz \times B\varsigma}{BC}$ | Sμ qui ſe trouve égale de cette ſorte à $\frac{Bz \times B\varsigma \times Zz}{BC \times Mz}$.

Il eſt donc clair que nous avons maintenant en grandeurs finies & connues le rapport qu'il y a entre les différentielles Sμ des ordonnées, & entre les petites parties correſpondantes Bϛ de l'axe de la courbe que nous examinons; & puiſque ce rapport eſt le même que celui qu'il y a entre les ordonnées & les soûtangentes, il ne nous reſte plus qu'à faire cette derniere analogie; Sμ $= \frac{Bz \times B\varsigma \times Zz}{BC \times Mz}$ eſt à Bϛ, ou ce qui revient au même, Bz × Zz, eſt à BC $\times \overline{Mz}^2$, comme l'ordonnée Mz, eſt à $\frac{BC \times \overline{Mz}^2}{Bz \times Zz}$ pour la longueur de la soûtangente. C'eſt-à-dire que les soûtangentes ſont égales au produit du quarré du ſinus Mz par BC, diviſé par Bz & par Zz; ce qui nous fournit la conſtruction ſuivante. Il n'y a qu'à tirer au point M du quart de cercle la tangente MV, & on aura zV pour la valeur de $\frac{\overline{Mz}^2}{Zz}$. Ti-

tant ensuite VX perpendiculaire à BC, cette ligne VX sera la valeur de $\frac{BC \times \overline{Mz}^2}{Bz \times Zz}$ & sera donc égale à la soûtangente requise. Il est vrai que cette soûtangente n'appartient qu'à la courbe qui résulte de l'application des ordonnées zM, RL, &c. aux divers points de l'arc BZ rendu ligne droite; mais pour avoir celle qui appartient à la courbe MG (Fig. 14) ou à la lisse même, il n'y a qu'à augmenter la premiere en même raison que zZ (Fig. 14.) est plus grand que l'arc BZ (Fig. 13.)

CHAPITRE VIII.

Faire ensorte que la courbure entiere des lisses depuis la premiere coupe jusqu'à l'étrave appartiennent à la même ligne courbe.

I.

LES Constructeurs, comme on l'a déja insinué, n'ont point de méthode, pour faire ensorte que chaque lisse suive la même ligne courbe depuis le maitre gabari jusqu'à l'étrave, lorsqu'ils sont obligés de donner à la coupe de l'avant, faite à l'extrémité de la quille, une figure particuliere. Mais lorsqu'ils sont dispensés d'observer cette derniere condition, ou lors qu'au lieu d'être obligés de faire passer une lisse GMζ (Fig. 11.) par les trois points G, M & ζ, ils ne sont assujettis qu'à la faire passer par G & ζ, ils ont plusieurs moyens pour la conduire d'une maniere uniforme. On n'en indiquera ici qu'un seul qui ne differera presque point de la méthode expliquée dans le premier article du Chapitre précédent, & on l'empruntera du Manuscrit de M. de Pulmi dont on a déja parlé.

Après avoir décrit un quart de cercle WAC (Fig. 16.) dont le rayon est égal à la longueur WA (Fig. 10.) de la

projection de la lisse du fort, ils décrivent d'un rayon double ouquelquefois d'un rayon seulement une fois & demie plus grand, & en mettant le centre sur WC prolongée, un arc WB qui se trouve terminé par CB perpendiculaire à l'extrémité C de WC. La plus grande longueur qu'ils donnent au rayon de l'arc WB est de le faire double de WC, comme je viens de le dire, lorsqu'ils veulent diminuer considérablement le renflement de l'avant; mais ils rendent quelquefois ce même rayon beaucoup plus petit; car ils se contentent dans certains cas de le faire égal à WC, alors l'arc WB devient un quart de cercle; & ils parviennent par là, pour ainsi dire, à la limite ou au terme de la plus grande convexité que peut avoir la prouë. Après cela ils divisent l'arc WB en autant de parties égales qu'ils veulent trouver la figure de différentes coupes en avant du maître gabari. Dans d'autres cas, au lieu de rendre les parties WD, DE, &c. égales entr'elles, ils font subsister cette égalité entre les parties correspondantes de BC. Enfin tous s'accordent à tirer des points de division D, E, F, &c. jusqu'à l'arc AC du quart de cercle des paralleles à BC, & à transporter les parties MH, NI, &c. sur le rayon WA, pour sçavoir de quelle maniere il faut diviser la lisse WA dans la figure 10, afin d'avoir les points par lesquels doivent passer les contours de toutes les coupes.

A l'égard des autres lisses, ils se contentent pour l'ordinaire de les diviser proportionnellement en prenant un point K sur le prolongement de CW, il n'importe en quel endroit; en tirant de ce point des lignes droites à tous les points de division de WA, & en plaçant les projections des autres lisses parallelement à WA. Ils observent seulement lorsqu'ils placent les projections GZ des autres lisses paralleles à WA, de ne les pas mettre depuis KA jusques à KW, mais de faire répondre leurs extrémités Z à une certaine partie de W3, selon que l'extrémité ζ (Fig. 11.) de la lisse GMζ, tombe au tiers ou au quart, &c. d'une des parties égales dans lesquelles on a divisé la long eur de l'avant du Vaisseau. Telle est la pratique qu'on suit tou-

Digitized by Google

jours, & qui eſt fort éloignée d'être reguliere : ſi elle ne fait pas ſouvent naître des angles conſidérables & comme des ſaults dans la courbure de la prouë, ce n'eſt que parce qu'on ſe donne toujours la liberté dans l'exécution, de changer quelque choſe dans les gabaris tracés avec le plus de ſoin. Dans la rigueur, c'eſt de l'arc FB dont il faut prendre une certaine partie aliquote ; puiſque c'eſt l'arc entier BW qui repreſente ſeul la longueur totale de la prouë. C'eſt-à-dire, qu'il faut qu'il y ait même rapport de tout l'arc WB à la partie BP qu'on en retranche, lors qu'on veut diviſer les autres liſſes ; que de toute la longueur vW (Fig. 11.) de la prouë meſurée dans le plan de la liſſe du fort, à ſon excès ſur la longueur ζZ qu'à la proue dans le plan, par exemple, de la liſſe moyenne qui eſt immédiatement audeſſous. Le point P de la figure 16 étant ainſi trouvé, il n'y aura qu'à tirer PQ parallelement à BC ; conduire QR parallelement à CW ; joindre les points K & R par la droite KR ; & ce ſera entre KA & KR qu'il faudra placer la longueur ZG de la projection de la liſſe dont il s'agit, pour avoir tous les points de diviſion : & il faudra faire la même choſe pour tous les autres.

II.

Au reſte il eſt facile de ſuppléer à la méthode dont on a beſoin pour aſſujettir à la même courbe, les liſſes entieres, lorſque la figure de la coupe de la prouë, faite à l'extrémité de la quille, eſt déterminée. On peut même réſoudre le Problême d'une infinité de manieres, & en ſe ſervant, il n'importe de quelle ligne courbe ; pourvû qu'elle ait plus d'un parametre, auſſitôt qu'on veut aſſujettir les axes à une certaine ſituation, & qu'on ne veut pas donner aux Vaiſſeaux une figure trop différente de celle qu'ils ont. Il s'agit en général de faire paſſer dans la figure 11 une courbe par les trois points donnés G, M, ζ ; en faiſant enſorte, pour ſe conformer à l'uſage qui a toujours regné juſqu'à preſent, qu'elle ſoit perpendiculaire en G à ſon ordonnée GZ. Il n'y aura pas plus de difficulté pour chaque autre liſſe ; on

aura toujours un point par lequel elle doit paſſer ſur le premier gabari, un autre ſur la coupe à l'extrémité de la quille & un troiſiéme ſur l'étrave ; & la ſituation de ces trois points l'un par rapport à l'autre ſera toujours donnée.

La premiere des lignes courbes qui peuvent ſatisfaire au Problême, eſt l'ellipſe conique ; nous nous contenterons d'expliquer ici la maniere de l'employer. Les trois points par leſquels il faut faire paſſer l'arc d'ellipſe ſont G, M &
Fig. 17. ζ dans la figure 17. Les ordonnées GZ & Mz ſont égales ou ſont ſuppoſées l'être aux deux lignes marquées par les mêmes lettres dans la figure 11. La partie d'abſciſſe Zz eſt égale à la longueur de la quille en avant de la premiere coupe ; & la partie ζz eſt égale à la ſaillie de la prouë audeſſus de l'étrave. Je ſuppoſe que l'ellipſe dont GMζ (Fig. 17.) en un arc ſoit achevée, & je prolonge juſqu'à la rencontre de la courbe de l'autre côté les lignes Mz, GZ, ζZ. Le grand axe de cette ellipſe eſt AB, & ſon petit GF ; la ligne MH eſt parallele au grand axe de même que EK, deſorte que CK = CH. C'eſt une proprieté de l'ellipſe, connue de tous les Géométres, que le rectangle de ζZ par zD eſt au rectangle de GZ par ZF comme celui de ζz par ZD eſt à celui de Mz par zE. Le premier de ces rectangles eſt un quarré, puiſque les lignes ζZ & ZD ſont égales ; & le troiſiéme rectangle de ζz par zD eſt égal, comme on le ſçait, au quarré de Zζ moins celui de Zz.

Ainſi la premiere analogie ſe change en celui-ci, $\overline{\zeta Z}^2 \mid GZ \times ZF \parallel \overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2 \mid Mz \times zE$. Et comme la premiere raiſon ne ſera point changée, ſi on diviſe les deux termes par GZ ; ni la ſeconde, ſi on diviſe ſon antécedent & ſon conſéquent par Mz, nous aurons cette autre proportion $\frac{\overline{\zeta Z}^2}{GZ} \mid ZF \parallel \frac{\overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2}{Mz} \mid zE$; qui ſe change en cette autre $\frac{\overline{\zeta Z}^2}{GE} \mid \frac{\overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2}{Mz} \parallel ZF \mid zE$; & en $\frac{\overline{\zeta Z}^2}{GZ} - \frac{\overline{\zeta Z}^2 + \overline{zZ}^2}{Mz} \mid \frac{\overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2}{Mz} \parallel ZF - zE = KF = HG \mid zE$. Or les trois premiers termes de cette derniere proportion étant abſolument

connus, il ſera toujours facile d'en connoître le quatriéme zE ou ZK, qu'on ajoutera à KF = GH & de plus à GZ, & on aura le petit axe GF de l'ellipſe.

Je crois qu'au lieu de chercher à conſtruire par lignes, quoique cela fût facile, l'analogie à laquelle nous venons de parvenir, il vaut toujours beaucoup mieux dans la pratique, la reſoudre par le calcul ; en meſurant ſur une échelle de parties égales la longueur des lignes qu'on connoît. Pour avoir le ſecond terme on prendra toujours l'excès du quarré de ζZ ſur le quarré de zZ qu'on diviſera par Mz ; & pour avoir le premier terme, on ôtera le ſecond terme du quarré de ζZ quon diviſera par Gz. Le troiſiéme terme ſera GH excès de GZ ſur Mz ; & enfin on ajoutera le quatriéme terme à KF ou à HG & de plus à GZ pour avoir le petit axe. Suppoſé que ζZ ſoit de 600 parties ; ζz de 100 ; GZ de 150, & Mz de 70 ; on aura pour les trois premiers termes de la propotion $828\frac{4}{7} | 1581\frac{3}{7} || 80$; & le quatriéme terme ſera $151\frac{21}{29}$ qui étant augmenté de 80 pour KF & de 150 pour GZ, donnera $381\frac{21}{29}$ pour le petit axe & $190\frac{51}{58}$ pour ſa moitié CG. Il ne reſtera plus après cela pour tracer l'arc d'ellipſe, ſans s'éloigner des pratiques que ſçavent les Conſtructeurs, qu'à décrire un quart de cercle *cag* (Fig. 18.) qui ait ſon rayon de $190\frac{51}{58}$ parties ; on ſera gZ de 150, & on tirera Zζ parallelement à *ca*. Ce ſera l'arc de cercle gζ dont il faudra former l'arc d'ellipſe ; & ce dernier ne ſera autre choſe, que le premier dont les ordonnées ſeront ſeulement placées à plus de diſtance les unes des autres. En un mot il n'y aura qu'à diviſer ζZ en autant de parties égales qu'on ſe propoſe de diviſer ζZ dans la figure 17, & porter toutes les ordonnées de l'arc de cercle, vis-à-vis des points correſpondans de ζZ dans la figure 17. On pourra auſſi porter ces ordonnées ſur la portion ZG de la liſſe dans le plan repréſenté par la figure 10 ; & ſi on fait la même choſe pour toutes les autres liſſes, les courbes qui paſſeront par tous les points qui ſe répondent, marqueront le contour de chaque coupe.

CHAPITRE IX.

De la maniere de projetter les diverſes coupes du Navire ſur toutes ſortes de Plans.

JUSQUES à preſent nous n'avons inſiſté que ſur la maniere de projetter tout le Vaiſſeau ſur un plan vertical perpendiculaire à ſa longueur; parce que cette eſpece de projection ſuffit pour en faire connoître la figure, & pour mettre les Conſtructeurs en état de le bâtir. Si on veut projetter le Navire ſur quelqu'autre plan que ce ſoit, il ſera toujours facile de déduire cette nouvelle projection de la premiere. Suppoſons qu'il s'agiſſe d'avoir la figure de toutes les liſſes ſur le plan vertical qui coupe le Vaiſſeau ſelon ſa longueur par la moitié, & que la projection ſe faſſe toujours par des perpendiculaires abaiſſées de tous les points des liſſes ſur ce Plan vertical. Après avoir dans la figure 19 repréſenté la quille avec l'étrave & l'étambot dans leur lougueur & dans leur ſituation, on diviſera la quille en autant de parties égales qu'il y a d'intervales entre les coupes que marque le Plan de la figure 10. On tirera par tous les points de diviſion des lignes verticales, ou plutôt des lignes perpendiculaires à la quille & elles repréſenteront ces coupes vûës d'une diſtance infinie dans la direction des baux. La verticale AD1 repréſente, par exemple, la premiere coupe ou celle qui eſt faite dans l'endroit le plus gros du Vaiſſeau, & ND2 celle de la prouë, faite à l'extrémité de la quille. Prenant enſuite dans la figure 10, pourvû qu'elle ſoit faite ſur la même échelle, toutes les quantités dont les liſſes ſont élevées ſucceſſivement dans les différentes coupes au-deſſus de l'horiſontale B2B; prenant toutes les quantités, par exemple, dont la ſeconde liſſe moyenne *Gm* eſt élevée dans les points G, 1, 2, 3, &c; il n'y aura qu'à les porter dans la figure 19 perpendiculairement au-deſſus de

de la quille dans les coupes qui leur conviennent, & on aura tous les points G, 1, 2, 3, &c. par lesquels doit passer la projection requise de la lisse. On marque ordinairement dans ce même Plan, ou on projette les différens ponts, de même que la *ligne d'eau* ou la ligne jusqu'à laquelle le Navire doit plonger dans la Mer : c'est ce qu'on pourra exécuter aisément sur ce que nous avons dit dans le Chapitre III.

Il est principalement nécessaire de tirer la ligne d'eau, lors qu'on veut avoir un troisiéme Plan qui représente le Navire coupé par la surface même de la Mer. On sçait que cette ligne n'est point parallele à la quille & qu'elle doit s'élever d'autant plus vers l'arriere, que lorsque le Navire est en mer, sa quille n'est point horisontale & qu'il *cale* ou plonge davantage par l'arriere que par l'avant. C'est OQ cette ligne ; & on peut en tirer plusieurs autres paralleles au dessous, si on veut avoir un grand nombre de coupes horisontales. Enfin on mesurera à quelle hauteur chacune de ces lignes coupe successivement les verticales qui représentent les coupes ; & prenant les largeurs de ces coupes précisément à ces hauteurs dans la figure 10, on aura toutes les différentes largeurs que doit avoir la coupe horisontale dont on demande la forme. La figure 20 nous montre seulement la coupe horisontale faite à fleur d'eau. Pour trouver CL, on a mesuré la demie largeur de la premiere coupe AD2A de la figure 10, à une certaine hauteur au-dessus du point D, égale à la hauteur AD, prise dans la figure 19. Pour trouver également la demie largeur MN (Fig. 20.) on a mesuré celle de la coupe D*lmn* (Fig. 10.) à une hauteur, égale à D2z (Fig. 19.) &c.

Ce sera presque la même chose, si le plan sur lequel on veut projetter le Navire, n'est point parallele à la quille & qu'en même tems, il s'incline vers un des flancs, en faisant, par exemple, avec les baux un angle de 12 ou 13 dégrés, qui est ordinairement la quantité dont le Vaisseau s'incline le plus dans les routes obliques. La ligne tirée de l'avant à l'arriere dans la figure 19, marquera toujours à

quelle hauteur il faudra examiner la largeur de chaque coupe verticale dans la figure 10. Mais au lieu de mesurer cette largeur sur une ligne horisontale, il faudra la mesurer sur une ligne inclinée de 12 ou 13 dégrés par rapport à A2A, ou à B2B, & il faudra donc tirer un ligne oblique pour chaque largeur.

Ces derniers Plans ne peuvent guéres se faire qu'en petit, & il suffit de leur donner 2 ou 3 pieds de longueur pour les plus grands Vaisseaux. Mais après qu'on a fait aussi le Plan de la figure 10 de la même maniere, on ne peut pas se dispenser de le faire en grand, aussitôt qu'il s'agit de construire le Navire. On cherche une surface plane assez grande ou on se la fait, pour contenir au moins la moitié de la figure 10 dans ses vrayes dimensions; & lorsque les principales couples sont tracées, on imite la courbure de chacune par des planches ressiées, larges de 8 ou 9 pouces, qu'on joint les unes au bout des autres, & qu'on taille exactement selon les contours. Ce sont ces planches ainsi disposées & destinées à servir de regles ou de modéles pour chaque couple, qu'on nomme proprement *gabaris*; & les Charpentiers n'ont plus qu'à s'y conformer exactement, lorsqu'ils taillent les pieces de bois qui doivent former les membres.

CHAPITRE X.

Remarques sur la forme que les régles ordinaires donnent aux Vaisseaux.

IL seroit inutile d'insister davantage sur les moyens qu'ont les Constructeurs pour former la figure de leurs Vaisseaux, ou pour tracer leurs gabaris. On peut consulter sur cela, si on veut, le Recueil manuscrit que nous avons déja cité plus d'une fois: mais il nous paroît que la pluralité des opérations, que ce grand nombre de diverses pra-

Digitized by Google

tiques pour diviser les lisses, que toutes ces différentes *réductions*, ne sont que la marque d'une vraye disette. On n'a recours à différentes méthodes, que parce qu'on ne connoît pas la meilleure; & c'est par cette même raison qu'on est d'avis si différens sur toutes les autres proportions dont nous avons ordinairement marqué les limites. Il eût valu incomparablement mieux que sans se permettre la plûpart de ces variations, on n'eût toujours suivi qu'une seule pratique; & que changeant seulement quelqu'une de ses circonstances, on eût été extrémement attentif à remarquer les effets qui en resultoient.

C'étoit le meilleur moyen de perfectionner l'Architecture navale par l'expérience, si la chose avoit été possible; mais on voit assez que la pratique est insuffisante en plusieurs cas. Il est certain que si elle est seule capable de perfectionner certaines parties, elle a besoin dans une infinité d'autres rencontres, d'être aidée des lumieres de la Théorie. Comme ce n'est que l'intention de trouver la vérité qui nous conduit dans nos recherches, nous marquerons toujours avec soin ce que les regles ordinaires ont de bon, & nous tâcherons même de l'autoriser par toutes les raisons, qui se présenteront à nous; afin que ce soit comme autant de points arrêtés & mis à couvert de toute atteinte, dans les différentes corrections qu'on pourra entreprendre de faire par la suite. A force d'essais on a, par exemple, assez bien trouvé en quel endroit de la quille, il faut placer le maître gabari ou l'endroit le plus gros de la carène; cependant si on diminuoit le renflement de la proue, je crois qu'il faudroit reporter un peu plus vers l'avant cet endroit plus large, & ne le pas mettre aux $\frac{5}{12}$ de la quille, mais aux $\frac{5}{12}$ de la longueur même de la carène, ou encore un peu plus près de l'extrémité de la prouë. Le maître gabari n'étant de cette sorte jamais placé au milieu du Navire, mais toujours plus vers l'avant, il se trouve que la prouë est plus grosse que la poupe, & que la carène imite mieux la figure des poissons; c'est ce qui fait d'autant plus d'honneur à la Pratique, que dans la Marine on ne sçait pas trop la raison

d'un usage qui paroît si extraordinaire.

Tous les Lecteurs ont aussi fait attention que les endroits les plus larges de chaque coupe vont en s'élevant vers l'avant & vers l'arriere, mais beaucoup plus vers l'arriere. On s'est mis dans la nécessité de se soumettre en partie à cet usage par cet autre dont nous avons déja parlé & qu'on observe depuis long-tems, de faire toujours enfoncer davantage dans l'eau l'arriere du Navire que l'avant, d'environ une sixiéme partie du creux. Comme la prouë n'est pas plus faite pour fendre l'eau avec facilité, lorsque la quille est parfaitement de niveau, que lorsqu'elle est inclinée; car on ne sçait pas quelle proprieté on lui donne; on a sans doute voulu éprouver, lorsque le Navire a été en Mer, de quelle maniere il singloit mieux; & ayant souvent remarqué qu'il falloit faire caler un peu davantage l'arriere, on s'en est fait une loi. Cette pratique est au moins toujours utile en cela, que l'arriere plongeant davantage dans l'eau, le Navire doit mieux sentir son gouvernail. On s'est mis aussi par cet usage dans la nécessité de ne pas rendre les ponts paralleles à la quille, car si on leur donne ordinairement la même hauteur en avant que vers le milieu, on l'augmente toujours beaucoup vers l'arriere. En élevant le premier pont à mesure qu'il avance vers la poupe, sa hauteur proche de l'étambot est d'environ une sixiéme partie plus grande que le creux, & moindre à peu près de la même quantité que la hauteur de l'endroit le plus gros ou le plus large. Cette situation du pont détermine celle des baux qui sont destinés à le soutenir, comme nous l'avons dit, en même tems qu'ils lient les deux flancs du Navire l'un avec l'autre; & il suit de là qu'ils ne marquent point les plus grandes largeurs du Vaisseau, si on excepte le premier.

Outre la raison qu'on vient de rapporter, il y en a encore une autre, à ce que je crois, qui invite autant à élever *le fort* du côté de la prouë que du côté de la poupe & qui est beaucoup plus importante; quoi qu'il n'y ait pas d'apparence qu'on y ait fait une attention expresse. Lors

qu'on met vers la prouë & vers la poupe la plus grande largeur de chaque coupe à une plus grande hauteur, on fait ensorte dans les routes obliques & lorsque le Navire s'incline beaucoup, que la partie de la carène plongée dans l'eau du côté opposé à l'inclinaison, perd beaucoup de son renflement, & que de l'autre côté la partie sumergée en acquerre au contraire un très-considérable. Le Navire déplace donc beaucoup plus d'eau du côté de son inclinaison ; & il doit, conformement à la maniere dont les fluides agissent, en être soutenu avec plus de force, & devenir par conséquent plus capable de porter la voile. C'est ce que nous tâcherons d'éclaircir davantage par la suite. Mais on voit déja assez qu'en élevant de cette sorte les plus grandes largeurs de la carène, on les met, pour ainsi dire, en reserve pour servir au besoin (lorsque le Vaisseau s'inclinera,) & pour servir précisement du côté qu'il sera nécessaire. Nous pouvons aussi reconnoître que cette disposition est moins importante dans les Navires qu'on fait plus plats par dessous & qui doivent être chargés par en bas d'un plus grand poids. Car ces bâtimens par la seule pesanteur de leur charge ou de leur lest, doivent déja mieux soutenir la voile.

Au reste, quoique nous ne condamnions pas absolument l'usage où l'on est de faire plus plonger dans l'eau l'arriere que l'avant du Navire, nous ne sçaurions cependant approuver aucune des regles dont se servent les Constructeurs pour déterminer la différence de ces deux divers enfoncemens. On pourroit construire un Navire exprès pour ne *caler* ou enfoncer dans l'eau que jusqu'à un certain terme, & on y réussira, aussi-tôt que la construction sera fondée sur de vrais principes. Mais quand un Navire n'est pas plus fait pour un certain enfoncement précis, que pour un autre, de même que tous les Vaisseaux qu'on a construits jusques à présent ; c'est une question très-difficile & une des plus compliquées de toute l'Architecture navale, que de déterminer le terme exact jusqu'auquel on doit le faire plonger. On croiroit peut-être qu'il

ne s'agit que de faire caler le Navire de maniere qu'il acquerre le plus de force qu'il est possible pour soutenir la voile ; mais l'enfoncement trop grand feroit augmenter considérablement la résistance que feroit l'eau au mouvement du sillage, & la rapidité de la marche diminueroit. Il ne s'agit pas non plus de trouver absolument la partie de la carène qui éprouve une moindre resistance. Car le Vaisseau n'enfonçant que peu dans l'eau, on ne pourroit lui donner que peu de mâture pour ne pas s'exposer au plus grand péril ; on perdroit toujours trop du côté de la force du vent ou de la quantité des voiles, & le Navire iroit encore moins vite. Il s'agit donc de rendre la résistance de l'eau la moindre qu'il se peut, non pas absolument, mais relativement, ou eu égard à l'étendue qu'on peut donner aux voiles ; & on entrevoit déja qu'il faut pour resoudre ce Problême, se livrer à un examen aussi long que penible ; entrer dans le détail de toutes les courbures de la carène, pour juger qu'elle sera la résistance que doit éprouver la prouë, selon qu'elle est plus ou moins plongée ; & discuter en même tems la distribution & la pesanteur de toutes les parties du Navire, afin de sçavoir la force qu'il aura dans chaque cas, pour soutenir l'effort du vent. Après cela nous ne sommes que trop en droit de conseiller aux Marins de faire de fréquentes expériences sur la situation ou sur *l'assiette* de leur Navire ; car nous n'avons à leur proposer qu'une solution très-compliquée * du Problême dont il s'agit, qu'on ne peut resoudre que par médiation ; au moins lorsqu'on veut porter la discution jusques dans les cas particuliers. Il est vrai que les Constructeurs qui ne veulent point être arrêtés par des difficultés capables de tenir indécis les Mathématiciens les plus habiles, croyent pouvoir s'en tirer d'une autre maniere. Plusieurs d'entr'eux prétendent qu'il faut examiner lorsqu'on lance le Vaisseau à l'eau, la situation qu'il prend de lui-même, & faire ensuite ensorte, quand il est achevé, qu'il est lesté & entierement équipé, qu'il se trouve encore la même différence entre ses enfoncemens de l'arriere & de l'avant.

* Voyez le Chap. 6. de la Sect. 4. du Liv. 3.

Digitized by Google

Le Lecteur ne peut que nous plaindre de nous voir obligés de refuter sérieusement de pareilles maximes : car il n'y a pas le moindre rapport entre ces deux états dans lesquels les Constructeurs comparent leur Navire. Si la carène a la proprieté de naviger avec la plus grande vitesse, lorsqu'elle entre entierement dans l'eau, elle ne doit pas l'avoir également lorsqu'elle n'entre que jusqu'à la moitié ou jusqu'au tiers de sa profondeur. On sçait d'ailleurs qu'il dépend du Constructeur qui veut mettre un Vaisseau à la Mer, de l'achever plus ou moins ; & de faire qu'il enfonce diversement par une extrémité ou par l'autre. Ainsi ce moyen proposé mistérieusement par les gens du métier, & reçû avec trop de respect par beaucoup de Marins, ne sert qu à nous confirmer dans le jugement que nous sçavions déja qu'il faut porter de la plûpart de leurs autres régles.

Mais si les maximes ordinaires doivent se trouver imparfaites, c'est principalement dans la figure même qu'on donne au corps du Navire ; car il étoit impossible qu'on pût découvrir par la Pratique seule & par des essais, quelques réiterés qu'ils fussent, les particularités d'une surface courbe entiere qui est un assemblage d'une infinité de lignes courbes & de points. Il ne faut donc pas douter que ce ne soit ici où la construction a principalement besoin d'être reformée. En général la prouë est trop renflée, & les lisses par le moyen desquelles on la forme, ont toujours trop de convexité. On a bien senti dans la Marine que cette partie ne devoit pas être trop aigue : mais on n'a pas reconnu qu'il suffisoit de porter la plus grande largeur du Navire plus vers l'avant, pour procurer cette plus grande grosseur, sans qu'il fût nécessaire de l'augmenter encore par la courbure excessive des côtés. Il se peut faire que par des considérations particulieres, on ne puisse pas suivre rigoureusement en cela tous les préceptes de la Théorie ; mais il est au moins toujours avantageux de les sçavoir, afin d'avoir en vûe le point de perfection, dans le tems même qu'on ne peut pas y atteindre & qu'on est obligé de s'arrêter en deça.

CHAPITRE XI.

Suite du Chapitre précédent, avec la maniere de rendre la figure des Vaisseaux plus parfaite.

I.

SI on se contentoit de faire consister *les façons* ou les diminutions de grosseurs du Vaisseau dans le seul retrecissement de ses varangues, sans lui donner d'acculement, en faisant, pour ainsi dire, traîner sa proue sur la quille jusqu'à son extrémité, il faudroit, comme nous le démontrerons dans le troisiéme Livre, rendre les lisses des lignes parfaitement droites. Ainsi si la premiere coupe étoit un rectangle, la proue seroit formée seulement par deux plans verticaux, qui en se rencontrant feroient un angle aigu à l'extrémité de l'avant, & la proue seroit terminée par une arête verticale intersection des deux plans. La figure 21 représente cette proue qui n'est formée que par des surfaces planes, & dans laquelle les lisses CA, ED, &c. ne peuvent pas manquer d'être des lignes droites.

Mais si on donne de l'acculement aux varangues ou qu'on détache entierement la proue de la quille, comme dans la figure 22, l'arête verticale AD de l'extrémité se racourcit par en bas de toute la quantité de l'acculement DF; & alors la proue, comme on le verra aussi dans le troisiéme Livre, ne doit plus être formée par des surfaces planes. Les lisses doivent être courbes, & elles doivent l'être davantage lorsqu'on éleve le point D ou qu'on augmente *les façons* DF; en même tems que la figure qui étoit déja plus avantageuse, le devient encore plus & approche du *maximum maximorum*, dans lequel réside le dernier point de perfection. Arrivée à ce terme, la proue a la figure d'une espece de demi conoïde regulier, dont la base, au lieu d'être circulaire, est un rectangle. Mais ce

Digitized by Google

ce qui eſt principalement digne de remarque, c'eſt que vû les dimenſions qu'on donne ordinairement aux Vaiſſeaux, il arrive toujours, lorſque l'acculement vers l'avant eſt le plus grand qu'il eſt poſſible, ou lorſque toute l'arête verticale de l'extrémité, eſt diſparue, & que la prouë a enfin acquis l'état le plus avantageux de tous, que les liſſes qui ſont auſſi parvenues à leur plus grande courbure, ne ſont pas encore ſi courbées que l'eſt un arc de cercle de 18 ou 20 dégrés; ou ce qui revient au même, qu'elles diffèrent encore ſi peu de la ligne droite, qu'elles ne s'en éloignent pas vers le milieu de la vingt ou vingt-deuxiéme partie de leur longueur. Suppoſé ce que nous diſons, il s'en faut donc extrémement que les Conſtructeurs, malgré leurs différentes tentatives, ayent rencontré la vraye figure de la prouë dont il faut retrancher preſque tout le renflement. Ils étoient auſſi fort éloignés de connoître cette regle qui peut leur devenir très-utile, & qu'on peut regarder comme un ſecret de Conſtruction; *que moins on donne d'acculement ou de façons* FD (Fig. 22.) *aux varangues vers l'avant, plus on doit rendre droites toutes les liſſes* CA, ED, *&c.*

Les choſes que nous avançons dépendent d'une Théorie trop compliquée, pour que nous puiſſions actuellement en faire entrevoir les raiſons: nous le ferons dans la ſuite; il ſuffit ici, où il ne s'agit que de pratique, de ne rien dire qui ne ſoit parfaitement démontré. * Nous joindrons auſſi quelques tables vers la fin du troiſiéme livre par le moyen deſquelles, on pourra donner à la prouë la figure la plus exacte, quand on le voudra. Mais il n'y a preſque point à s'y tromper, auſſi-tôt qu'on ſçait que les deux termes entre leſquels doit être la courbûre, ſont extrémement voiſins l'un de l'autre; qu'il faut rendre les liſſes ou parfaitement droites comme dans la figure 21, ou leur donner à peine la courbure d'un arc de 18 ou 20 dégrés, comme dans la figure 22. On leur donnera à peu près cette derniere courbure, nous le repetons, quand on voudra augmenter l'acculement ou donner à la prouë plus *de façons*; au lieu qu'on

* Voyez le Chap. 4. de la Sect. 5. du Liv. 3.

rendra les lisses presque droites quand on voudra diminuer l'acculement DF. On peut par cela seul, sans s'attacher scrupuleusement aux régles précises que prescrit la spéculation, en retirer sensiblement tout le fruit. Il n'y a qu'à conserver, si on le veut, au maître gabari sa figure ordinaire, quoi qu'il soit toujours avantageux pour la marche d'en diminuer les dimensions & souvent de le retrecir par en bas. On gagneroit extrémement du côté de la promptitude du sillage de ne donner de largeur à cette couple que la cinquiéme ou la sixiéme partie de la longueur du Navire, en même tems qu'on diminueroit le creux à proportion. C'est ce que nous montrerons dans la suite avec la plus grande évidence; & nous ferons même voir cette singularité très-étonnante, qu'il ne seroit pas impossible en diminuant ces deux dimensions, ou bien en augmentant la longueur, de faire aller un Navire quelquefois aussi vite que le vent. * Nous revenons aux lisses ausquelles on pourra donner, si on le veut, toujours la même situation: c'est-à-dire qu'elles peuvent se terminer sur l'étrave à des distances égales les unes des autres, & partager aussi également le contour du maître gabari, en commençant aux extrémités du plat de la varangue. Soit qu'on leur fasse imiter ensuite la courbure d'un arc de cercle, ou celle d'un arc d'ellipse, &c. il suffira de n'écarter cette courbure du milieu de la ligne droite qui lui sert de corde, que d'une vingt-cinq ou trentiéme partie de sa longueur totale; & rien n'empêche de suivre dans cette opération la méthode *des reductions*, ou l'emprunt que font ordinairement les Constructeurs, des ordonnées d'une courbe pour en tracer plus aisément une autre.

*Voyez le Chap 8. de la Sect. 4. du Liv. 3.

II.

Ainsi il sera toujours facile de donner, à très-peu près, à la prouë la forme qu'elle doit avoir. Après avoir tracé la premiere coupe AD2A (Fig. 23.) & avoir tracé les projections AW, GZ, &c. des lisses, on prendra la longueur d'une de ces projections, par exemple, de celle WA de la lisse *du fort*, on tirera une droite WA (Fig. 24.)

Fig. 23. & 24.

Digitized by Google

de cette même longueur, à l'extrémité W, de laquelle on élevera une perpendiculaire W*v*; & prenant un point *v*, à volonté sur cette seconde ligne qu'on pourra faire égales à la premiere, on tirera la droite *v*A au milieu de laquelle on élevera une perpendiculaire BC, qui ne feroit que sa vingt-cinquiéme ou trentiéme partie, si la ligne *v*A étoit de même longueur que la lisse même; mais comme elle sera plus courte, on fera BC de sa dix ou douziéme partie. On fera passer ensuite un arc de cercle AC*v* par les trois points A, C & *v*, & divisant W*v* en autant de parties égales qu'on veut diviser la longueur de la prouë, ou qu'on se propose de trouver la figure de différentes coupes en avant du maître gabari, on tracera par tous les points de division D, E, G, &c. des paralleles à WA jusqu'à la rencontre de l'arc *v*A, & transportant ces paralleles sur WA; cette derniere ligne se trouvera divisée comme le doit être la projection WA de la lisse dans la figure 23 pour que la lisse soit un arc (d'ellipse) très-peu courbé. Fig. 23. & 24.

Il n'y aura pas plus de difficulté pour les autres lisses. Il faudra seulement faire attention que la longueur de la prouë étant moins grande dans leur plan que dans celui de la lisse du fort, cette longueur ne sera pas représentée par W*v*, mais par une droite RQ moins longue. S'il est question, par exemple de la premiere lisse moyenne dont &F (Fig. 23.) est la projection, il faut que QR (Fig. 24.) soit à *v*W, comme &&3 (Fig. 11.) est à *v*W, ou comme la distance du point & dans la figure 19 à la verticale AD1, est à la distance du point *v* à la même verticale. Enfin si par hazard RA se trouvoit égale à la projection de la lisse moyenne dont il s'agit actuellement, il n'y auroit qu'à transporter R1, R2, R3, &c. sur la projection même pour trouver les points de division; mais en général il faudra d'un point K pris à volonté sur le prolongement de *v*W, tirer des lignes droites à tous les points, 1, 2, 3, &c. & portant en &F la longueur de la projection de la lisse, elle se trouvera divisée proportionnellement à RA. On fera la même chose pour toutes les autres, & rien n'em-

pêchera enſuite de tracer le contour de toutes les coupes qu'on vouloit avoir.

Au lieu d'élever la perpendiculaire BC au milieu de *v*A, (Fig. 24.) on peut l'élever au tiers de cette ligne, en faiſant AB double de B*v*. Il faudra alors former l'arc AC*v* de deux arcs de cercles différens qui viendront ſe toucher en C, & qui auront par conſéquent leurs centres ſur la perpendiculaire CB prolongée autant qu'il ſera néceſſaire. On ſuivra le reſte de l'opération dans toutes ſes circonſtances : mais on imitera beaucoup mieux de cette ſorte la courbure qui eſt la plus propre à fendre l'eau.

Ce ſera à peu près la même choſe de la poupe ; les liſſes doivent être auſſi preſque droites, & on ne doit guéres les en détourner par le milieu, que d'une vingt ou vingt-cinquiéme partie de leur longueur. Ainſi tout le Navire doit preſque prendre la figure des deux demi cônes (Fig. 25.) joints par leurs baſes, & *les façons* doivent être telles qu'elles commencent ſubitement dès l'endroit le plus gros, où la prouë & la poupe ſe ſéparent ; & ce doit être, comme je l'ai déja dit, aux $\frac{5}{12}$ de la longueur totale, à commencer de l'extrémité B de la prouë : au lieu que dans la fabrique qui eſt actuellement en uſage, le corps même de la carène eſt ſenſiblement de même groſſeur dans un grand eſpace, & ſe trouve en même tems comme attaché à la quille. On ne cherchera point malgré tout cela à diſculper la Géométrie, de la figure étrange qu'elle paroît donner aux Vaiſſeaux ; ce ſera aux Marins à s'y accoutumer. Cependant il eſt des raiſons particulieres qui autoriſent à alterer un peu cette figure : les abordages ſeroient, par exemple, extrémement dangereux, ſi on laiſſoit l'arête EFD ſans l'adoucir ; ainſi il ne faut pas manquer de l'émouſſer. Quoique la partie AFG qui s'étend, pour ainſi dire, à une ſi grande diſtance du Navire, paroiſſe deſormais inutile, on ne peut pas néanmoins la retrancher, parce qu'il faut néceſſairement attacher toujours le gouvernail à l'étambot GA. A l'égard de la partie BCF, on pourroit plutôt la ſupprimer, ſi on pouvoit le faire ſans

Digitized by Google

diminuer la solité avec laquelle tous les membres doivent être liés pour faire un corps, & si une autre raison fort importante n'invitoit pas encore à ne pas la retrancher. C'est que cette partie contribue beaucoup dans les routes obliques à faire que le Navire *dérive* moins, ou que sa route s'éloigne d'une moindre quantité de la direction de son axe. Il est vrai qu'elle nuit en même tems à la facilité que doit avoir le Vaisseau de tourner lorsqu'il s'agit de faire quelque évolution, & qu'elle le rend *ravier*, c'est-à-dire trop disposé à présenter sa prouë au vent; mais il n'y a qu'à multiplier les voiles de l'avant ou les faire plus grandes pour s'opposer à cet effet: de cette sorte on réunira tous les avantages, sans s'exposer à aucun inconvenient.

Il faut remarquer que comme un pareil Navire seroit formé pour naviger lorsque sa quille est parallele à la surface de la Mer, il n'y auroit rien à gagner de faire plus plonger son arriere que son avant: la résistance que trouveroit la prouë à fendre l'eau ne changeroit pas d'une quantité sensible. D'un autre côté le gouvernail ne peut pas manquer de produire ici son effet, à cause de la facilité que doit avoir l'eau à le fraper avec toute sa force. Aussi-tôt que la poupe ne doit pas plus enfoncer dans l'eau que la prouë, rien n'empêche de rendre les ponts paralleles à la quille: & il est également évident qu'on ne doit plus mettre à une si grande hauteur la lisse d'hourdy ou l'endroit le plus large de la poupe; il suffira de rendre cette hauteur plus grande que le creux d'une huitiéme ou neuviéme partie.

III.

Au surplus tout ce que nous venons de dire convient principalement aux Fregates & à tous les Navires dont il s'agit de rendre le sillage rapide lorsqu'ils navigent dans une belle Mer, sans qu'il soit question de les rendre capables de porter un grand poids. Mais si l'on a des raisons pour donner à la carène une plus grande capacité, ou si on veut que le Navire soit capable de soutenir plusieurs

ponts & une artillerie considérable, si on veut éviter le tangage, il n'y aura qu'à employer la prouë représentée
Fig. 26. dans la figure 26, en même tems qu'on élargira un peu toute la carène.

La prouë de la figure 26 ne répond à nos idées que d'une maniere générale : nous supposons assez d'adresse aux Constructeurs pour pouvoir adoucir tous les angles & toutes les arêtes de cette figure. Si l'on donnoit le plus *de façons* qu'il est possible à cette prouë, les lignes courbes qui en la formant viendroient se terminer à son extrémité A, ne seroient pas encore plus courbes que des arcs de cercle de 18 ou 20 dégrés. Mais en diminuant les *façons* & en rendant horisontale leur lisse ED, cette lisse deviendra parfaitement droite, conformement à ce que nous avons dit ci-devant : Les autres lisses comme CM, seront également droites & paralleles à la premiere dans toute la partie interceptée entre les Plans BFEC & NDM; mais la saillie de l'étrave AD jointe à l'inclinaison des flancs de la premiere coupe BFEC, sera cause qu'il faudra ensuite courber les lisses d'en haut pour fermer la prouë. La surface DMCE seroit plane si le côté EC du maître gabari étoit une ligne droite : au lieu qu'elle sera comme cilindrique, à cause de la courbure ordinaire de EC; & dans tous les cas, DM sera parfaitement égal à EC. Lorsque le plat EF de la maîtresse varangue sera la moitié de la longueur BC du bau, la demie largeur LM qui est égale à HC sera la moitié de GC : Ainsi la prouë aura au-dessus de l'extrémité D de la quille, une largeur NM égale à la moitié de la plus grande largeur BC de la carène.

Il n'est pas nécessaire d'insister sur la maniere de tracer alors les coupes. On voit bien que chacune, comme PRST sera formée de deux parties parfaitement égales à celles BFK & HEC de la premiere; mais raprochées l'une de l'autre. La distance RS à laquelle il faudra les mettre, sera le plat de chaque varangue ; & ce plat diminuera en même raison que la distance à l'extrémité D de la quille. A l'égard de la partie ANMD, on pourra la former en pro-

Digitized by Google

longeant chaque liſſe comme CM par un arc de cercle AM, qui ait pour tangente en M la partie rectiligne CM de la liſſe ; ce qui ſera que la liſſe entiere CMA aura dans ſa totalité une plus grande courbure, laquelle ſeroit encore augmentée, ſi on rendoit le plat FE de la maîtreſſe varangue plus petit ; puiſque HC deviendroit plus grande, & que LM eſt égale à HC. Cette prouë qu'il ſuffit ſimplement d'imiter en empruntant ſes principales particularités, ou en ſe conformant au total de ſa forme, doit trouver plus de difficulté à fendre l'eau que celle que nous avons montré à former dans l'article précedent : mais les grandes largeurs qu'elle conſerve par en haut depuis la premiere coupe BIC juſqu'au deſſus de l'extrémité de la quille, font au moins qu'elle eſt très-capable de ſoutenir l'effort de la voile.

Cette forme du Navire le rendra auſſi plus capable de reſiſter aux mouvemens de la Mer qui produiſent le *tangage* ou ces balancemens auſſi dangereux qu'incommodes qui ſe font dans le ſens de la longueur. La Mer dans ſon agitation vient fraper une des extrémités du Navire & la fait s'élever. Alors l'autre extrémité eſt obligée de plonger dans l'eau, & elle continue à s'enfoncer juſqu'à ce qu'elle ſoit arrêtée par la reſiſtance de l'eau ou par le poids du volume qu'elle déplace. D'autres fois le Navire n'eſt pas choqué, c'eſt ſimplement la Mer qui perd en partie ſon niveau par l'agitation de ſes ondes. La Mer ſe ſouſtrait tout d'un coup de deſſous la prouë, ou la poupe ; & il faut donc abſolument que cette partie du Navire retombe pour ſe trouver ſoutenue. Ce mouvement violent du Vaiſſeau peut cauſer la rupture des mâts, & fait toujours tort à la promptitude de la marche dont il interrompt une partie. Il eſt évident qu'on ne peut éviter tous ces accidens, ou au moins les diminuer, qu'en groſſiſſant un peu les deux extrémités de la carène ou qu'en ne leur donnant pas de ſi grandes façons par deſſous. Il faut conſulter l'expérience ſur cela, puiſqu'il s'agit d'accommoder la figure des Vaiſſeaux à l'uſage particulier qu'on ſe propoſe d'en faire, ou

à la nature des voyages qu'on veut entreprendre. Mais souvenons-nous toujours qu'il est démontré que lorsqu'on n'a en vûe que la seule promptitude du sillage & qu'on ne veut traverser que des Mers tranquilles, comme l'est par exemple, la mer Méditeranée pendant nos plus belles saisons, le Navire ne doit differer que très-peu de deux cônes joints par leur base.

Enfin si le renflement qu'on vient de procurer à la carène ne suffisoit pas encore, on pourroit donner au Navire exactement la même grosseur dans un espace considérable qui fût la cinquiéme ou le quart, ou tout au plus le tiers de toute sa longueur, & on n'observeroit les regles qu'on vient de prescrire qu'à l'égard des parties de la carène qui seroient vers l'avant & vers l'arriere & qu'on destineroit à servir de prouë & de poupe. Il me paroît seulement que comme la capacité de la cale seroit après cela assez grande, il vaudroit mieux donner ensuite plus de façons à l'avant ou le faire terminer plus en pointe, afin de ne pas tant perdre du côté du sillage. Cette derniere attention seroit principalement observée dans les Navires de guerre, pour lesquels on ne feroit aussi cette partie de la carène qui conserve la même grosseur vers le milieu, que la moins longue qu'on pourroit.

Si au lieu des Bâtimens ordinaires de transport on veut construire une Flute, il n'y aura qu'à prendre pour modéle la figure d'un parallelipipede rectangle, mais qu'on alterera en formant la prouë & la poupe par deux plans inclinés; l'un panché en avant pour la prouë, & l'autre en arriere pour la poupe. On aura toujours le soin de conserver les deux parties que représentent BCF & FGA dans la figure 25, non-seulemement parce qu'elles servent à fortifier la prouë & la poupe; mais encore plus à cause des autres usages que nous leur avons déja attribués. Enfin on observera à peu près ces proportions; que si la longueur totale du Navire est de 144 parties, d'en donner environ 44 à la prouë ou à la saillie du plan incliné qui la termine, 32 au corps même de la carène qui conserve la même grosseur &

Digitized by Google

& 68 à la poupe. Cette Flute dont il n'y aura qu'à émousser les angles aura la forme la plus parfaite de toutes, comme on le verra dans la derniere Section du Livre III. * il paroît outre cela que la grande longueur de ses flancs qui sont parfaitement droits, seroit très-propre à recevoir de l'artillerie, ce qui pourroit la rendre utile pour la guerre.

* Voyez l'article 3. du Chap. 9.

CHAPITRE XII.

De la maniere de mettre les Navires à l'eau; & le moyen de reconnoître s'ils se courbent dans le sens de leur longueur, par l'effort qu'ils souffrent dans ce mouvement.

I.

ON n'attend pas pour mettre un Navire à l'eau, qu'il soit entierement construit; sa pesanteur qui se trouveroit plus grande, rendroit beaucoup plus difficile cette opération qui ne l'est déja que trop. On n'a pas dans tous les Ports de ces bassins peu étendus qu'on nomme *formes*, dans lesquelles on pourroit, non-seulement achever un Navire, mais l'armer & l'équiper; & où il ne resteroit plus pour le mettre à flot, qu'à ouvrir les portes, lorsque la Mer est haute. Outre que dans nos Ports nous avons trop peu de *formes*, & que quand on en a fait deux ou trois dans le même, on les a placées mal à propos à l'extrémité les unes des autres, ce qui empêche souvent que chacune puisse servir à part; on les reserve ordinairement pour les *radoubs*, c'est-à-dire, pour faire les reparations, soit aux bordages, soit aux membres, dont les Navires n'ont besoin que trop souvent.

On construit donc presque toujours les Vaisseaux sur les quais; mais on a le soin de rendre incliné le Plan sur lequel on les bâtit, afin de pouvoir ensuite les faire glisser

plus aisément jusques à l'eau ; dont ils ne sont jamais fort éloignés. On donne souvent six lignes d'inclinaison au Plan sur chaque pied de longueur ; de sorte qu'il fait toujours avec l'horison un angle d'environ 2 $\frac{1}{3}$ dégrés, à moins qu'on ne soit obligé de changer un peu cette pente, à cause des circonstances du lieu. Le *chantier* sur lequel on construit le Navire, est formé de poutres placées en travers, ou placées perpendiculairement à la quille. Ces poutres se nomment *tins*, & la quille au lieu de porter immédiatement dessus, est élevée pour la commodité des ouvriers, & aussi pour les raisons qu'on verra dans la suite, sur plusieurs billots ou coins situés sur les *tins* de distance en distance. Le plan que forment les tins étant incliné du côté de la Mer, la quille n'est point horisontale, elle a la même inclinaison que le chantier ; & on met la prouë ordinairement du côté de l'eau.

On commence par poser la quille, & à mesure qu'on place chaque membre au-dessus, ou même l'étambot & l'étrave, on a le soin de le soutenir toujours par des *accores* qui sont des pieces de bois qui servent d'arc-boutans ; & ce sont ces mêmes *accores* qui empêchent le Navire de tomber d'un côté ou d'autre, pendant qu'on le construit. On pousse l'ouvrage au moins jusques au premier pont, on *borde* la carène, ou on la revêtit de ses bordages ; & on borde aussi le premier pont qui est soutenu de tous ses baux. Souvent les autres ponts ne sont point encore commencés ; mais il est absolument nécessaire que le premier soit achevé, pour éviter différens accidens ; & pour rendre sur tout le Navire plus capable de soutenir le mouvement auquel on va l'exposer.

On prolonge le chantier jusqu'à l'eau, en mettant au-devant du Navire, perpendiculairement à sa longueur, d'autres poutres, d'autres tins qui forment un plan toujours également incliné, & on met au-dessus, au milieu, une suite de forts madriers pour servir de chemin à la quille, qui est retenue par de longues tringles paralleles, lesquelles forment comme une coulisse. Le Vaisseau pendant

Digitized by Google

qu'il glisse *sur* sa quille, n'étant plus soutenu par ses accores, tomberoit infailliblement sur l'un ou l'autre flanc, si on ne l'en empêchoit de chaque côté par de longues poutres situées parallelement dans le sens de sa longueur entre lesquelles il se meut, & qui étant éloignées les unes des autres à peu près de sa demie largeur, répondent de chaque côté vers l'extrémité du plat de la maîtresse varangue. Ces poutres s'étendent jusqu'à l'eau tout le long du chantier ou du *berceau* auquel elles sont bien arrêtées, & on les nomme à cause de leur longueur *anguilles* dans certains Ports, mais le nom qu'on leur donne plus souvent est celui de *couettes*. Elles ne sont jamais assez hautes pour parvenir jusqu'à la carène du Navire, quoi qu'elles soient fort avancées dessous; mais on attache fortement au Navire même, des deux côtés, deux autres pieces de bois qu'on nomme ordinairement *dragues* dans le Ponant & *colombiers* dans le Levant, qui portent ou s'appuyent sur les couettes & qui peuvent glisser dessus. Après que le tout est ainsi disposé, on a toujours le soin de renouveller les coins. On ôte à coups de massues les anciens qui s'étoient comme collés avec les teins & avec la quille, & qui s'y étoient engagés par l'impression causée par le grand poids dont ils étoient chargés; & à mesure qu'on les ôte, on leur en substitue de nouveaux.

Les Navires qu'on veut lancer à l'eau de cette maniere, sont toujours soutenus en trois endroits, sous la quille & des deux côtés par les *couettes* & par les *dragues*: mais il y a eu des Constructeurs qui ne les faisoient porter qu'en ces deux derniers endroits. Ils ôtoient les anciens coins sans en mettre de nouveaux; la quille se trouvoit en l'air, & tout le poids du Navire dans tout le chemin qu'il faisoit pour parvenir jusqu'à l'eau, se distribuoit entre les deux couettes: la premiere maniere me paroît beaucoup sûre; le corps du Navire travaille moins. A l'égard du frotement il doit être sensiblement le même; on doit avoir toujours la même difficulté ou la même resistance à vaincre: car qu'un corps pesant ne s'appuye que sur deux points, il s'appuye

davantage sur chacun, & le frotement est plus grand; au lieu que lorsqu'il porte sur trois, il s'appuye moins sur chacun, le frotement en chaque endroit est plus petit; mais la somme des trois frotemens dans le dernier cas est égale à la somme des deux frotemens dans le premier. Quoiqu'il en soit on n'oublie jamais afin de faciliter le mouvement, de froter les couettes avec du suif, de même que le chemin de la quille, lorsqu'il est nécessaire. On examine si tout le long du chantier, ou du *berceau*, il n'y a rien qui puisse faire obstacle; s'il n'y a pas la moindre pointe de clou, &c. Enfin on ôte les *accores* des côtés, & le Navire n'est plus arrêté par l'avant que par la seule accore qui s'appuye contre l'étrave & qu'on nomme la *soûbarbe*; & outre cela par un bout de cable qui le retient de l'arriere, & qui est appliqué à une ancre à demi enterrée.

Si toutes les précautions ont été bien prises, & si la pente du berceau est telle que je l'ai dite, il suffit après avoir coupé le bout du cable *de retenue* dont je viens de parler, de faire sauter la *soûbarbe*, cette piece de bois qui s'oppose au mouvement du Navire, en s'arcboutant contre l'étrave. Le Vaisseau en s'ébranlant part avec une lenteur qui permettroit d'abord de lui croiser le chemin plusieurs fois; mais sa vitesse s'accelerant par degrés, il va bientôt avec tant de rapidité, qu'il n'y a plus rien capable de l'arrêter, & que le feu prend au chantier. Pour faire sauter la soûbarbe, on peut la fraper avec une massue; & le Charpentier, s'il ne manque pas de tête, a tout le tems ou de fuir ou de se jetter entre les tins; mais il vaut beaucoup mieux se servir d'un long *belier* dont on assure les coups de loin, en le maintenant dans une espece de canal. La soûbarbe en tombant & en restant sur la route du Vaisseau, causeroit quelque accident, mais elle est attachée à une corde; & plusieurs ouvriers qui sont toujours dans le Navire, ont le soin de la tirer promptement en haut. A l'extrémité de l'arriere, au talon, il y a plusieurs leviers tous disposés, de longues solives de 25 ou 30 pieds dont on engage le bout sous la quille, & qui servent, non pas à

Digitized by Google

pouſſer le Vaiſſeau, mais à lui cauſer quelque agitation, ſupoſé qu'il ne parte pas aſſez vite. On y attache auſſi, ou on y *amarre*, pour parler comme les Marins, pluſieurs cordages qui vont ſe rendre à des rouës ou à des cabeſtans où il y a du monde tout prêt à agir. La moindre choſe, comme je l'ai déja dit, un ſeul gravier peut arrêter le premier mouvement, & rendre inutiles les efforts de pluſieurs centaines de perſonnes, qui s'aident de différentes machines; le Conſtructeur au deſeſpoir ne ſçait quelquefois à quoi s'en prendre. Mais après que le mouvement s'eſt une fois acceleré, on n'a plus de pareils obſtacles à craindre; il n'eſt plus queſtion que d'arrêter la trop grande viteſſe, avec laquelle le Navire iroit ſouvent ſe briſer de l'autre côté du Port.

On ſe ſert pour empêcher cet accident de pluſieurs cordages de *retenue*; & comme on ſçait par expérience que les plus gros cables n'auroient pas aſſez de force, on met pluſieurs cordages plus courts qu'on veut bien qui ſe rompent, pour détruire le premier effort. On ploye auſſi quelquefois ces cordages, & on attache leurs plis avec différentes autres cordes qui doivent ſe caſſer ſucceſſivement. Il y a bien à prendre garde pour les Ouvriers & pour les Spectateurs, pendant la rupture de toutes ces cordes; car elles donnent comme des coups de fouets, qui ont ſouvent tué ou bleſſé pluſieurs perſonnes. On peut pour éteindre plus promptement le mouvement, tenir auſſi vers le haut de la poupe diverſes pieces de bois attachées; & les laiſſer tomber dans l'eau l'une après l'autre, à *la traine* du Navire.

II.

De la courbure que les Vaiſſeaux ſouffrent dans le ſens de leur longueur lors qu'on les lance à la Mer.

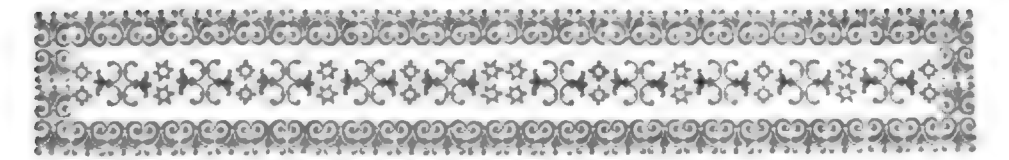
Un autre accident qu'il eſt plus difficile d'éviter & auquel on ne s'aviſe pas neanmoins de faire ſitôt attention, c'eſt la courbure que le Navire reçoit ordinairement dès ce

premier instant dans le sens de sa longueur. La plûpart des Lecteurs sçavent que toutes les liqueurs poussent en haut les corps qui flotent sur leur surface à proportion du volume qu'ils y occupent : c'est d'ailleurs ce que j'aurai occasion d'expliquer dans le Livre suivant. Le Navire occupant par son milieu beaucoup plus d'espace dans l'eau, en est beaucoup plus soutenu : au lieu que c'est le contraire de la prouë & de la poupe, en même tems qu'elles sont plus pesantes. Ainsi le soutien que fournit l'eau n'est pas distribué comme il le devroit ; il est apliqué principalement au milieu, quoique ce soient les extrémités qui pesant davantage en auroient plus besoin. On ne doit point s'étonner après cela qu'un corps autant appesanti que fortifié par toutes les pieces de bois qui le forment, se courbe ou *s'arque* considérablement, & que la quille en faisant un arc très-sensible, tourne sa convexité en haut. Cette courbure qui augmente de plus en plus, parce que la cause qui la produit, agit sans cesse, oblige de faire de grandes reparations aux Navires, & les rend à la fin incapables de naviger. Mais on peut remarquer que le premier effort qu'ils souffrent, lors qu'on les lance à l'eau, produit déja un très-dangereux effet. Quelquefois l'arriere est encore sur le chantier, pendant que tout l'avant est presqu'en l'air, & que son poids fait effort pour courber la quille & toutes les autres pieces situées dans le même sens. Il est vrai que si *le berceau* s'étend fort loin dans l'eau, ce qu'on a la facilité de faire dans les Ports de l'Océan, en profitant du reflux pour y travailler, & de la pleine Mer pour mettre le Navire à la Mer, il y a beaucoup moins de risque. Cependant la prouë se trouvant soutenue par l'eau pendant que l'arriere s'appuye encore sur le chantier, la quille & diverses autres pieces sont dans le cas d'un corps long & flexible soutenu par les deux extrémités ; & elles acquerrent en se pliant en dessous, plus de facilité à *s'arquer* ensuite dans le sens contraire. Ainsi laissant même à part divers autres accidens qui ne sont que trop fréquens, il seroit toujours à souhaiter qu'on eût des bassins ou des for-

Digitized by Google

mes dans tous les Ports, pour y pouvoir construire tous les Vaisseaux.

Une marque infaillible qu'un Navire s'est plié ou *arqué*, c'est qu'on voit que les bordages d'en haut dont les bouts étoient exactement joints les uns aux autres, pendant qu'il étoit encore sur le chantier, se trouvent un moment après considérablement éloignés les uns des autres : On ne peut pas douter après cela que tout l'ouvrage n'ait cedé & obéi. Pour déterminer avec autant de précision que de facilité, la quantité de la courbure, il n'y a, lorsque le Vaisseau est encore sur le chantier, qu'à élever trois regles verticalement sur le Pont, ou si l'on veut dans la cale sur la carlingue, l'une au milieu & les deux autres aux deux extrémités à l'avant & à l'arriere : On placera des mires à une certaine hauteur sur les deux qui sont aux extrémités, & faisant monter ou descendre une troisiéme mire sur la regle du milieu, jusqu'à ce qu'elle soit exactement en ligne droite avec les deux premieres, ou sur le même rayon visuel; on mesurera sa hauteur au-dessus du Pont ou au-dessus de la Carlingue. Si on fait ensuite la même opération, lorsque le Navire sera à l'eau, & qu'on trouve qu'il faut toujours mettre cette mire du milieu à la même hauteur; ce sera une marque que le Navire ne s'est point arqué, mais s'il faut la mettre plus bas d'une certaine quantité, comme cela arrivera presque toujours, ce sera une marque que le milieu du Navire s'est élevé, & on connoîtra exactement de combien. Rien n'empêchera d'examiner de cette sorte quel est de tems en tems le progrès du mal, en réiterant l'expérience sur la carlingue & sur le pont; & on sçaura beaucoup mieux le remede qu'il faudra y aporter.



SECONDE SECTION.

Des Agreils ou Apparaux du Navire.

CHAPITRE PREMIER.

Du Gouvernail & du Cabestan.

I.

LE Vaisseau déja construit a besoin de beaucoup d'autres choses pour pouvoir naviger ; & toutes ces pieces ou parties qu'il faut lui ajouter, se nomment *agreils* ou *apparaux*. Tel est le gouvernail dont tout le monde sçait l'usage, pour maintenir le Navire sur la même route, ou pour l'en faire changer, & qui dans la comparaison du Vaisseau avec les poissons, représente la queuë dont il remplit quelques unes des fonctions. Cet instrument est attaché par de gros gonds à l'étambot & on le fait tourner par le moyen d'un long levier qu'on nomme *barre* ou *timon*, qui étant inseré presque perpendiculairement dans le haut, s'introduit dans le Vaisseau le plus souvent entre les deux premiers ponts par la Sainte-Barbe *, en passant par dessus la tête de l'étambot. Le gouvernail est fort étroit dans toute sa partie qui est hors de l'eau ; celle qui est dans la Mer & qui est exposée à l'impulsion, n'a gueres aussi que quatre pieds de largeur dans les plus grands Navires, & environ deux dans les plus petits. A l'égard de son épaisseur, elle doit être la même que celle de l'étambot, afin que l'eau le frape dans toute sa largeur de quelque côté qu'on le tourne.

* *La Sainte-Barbe est l'appartement le plus bas de la poupe, qui sert principalement aux Canoniers.*

Pour

Digitized by Google

Pour faire tourner le gouvernail avec plus de facilité, on se sert ordinairement d'une rouë de trois ou quatre pieds de diamétre, placée verticalement sous le gaillard dans le sens de la largeur du Navire. AB (Fig. 27.) est l'étambot, DC est le gouvernail & CE est la *barre* ou le *timon* & à son extrémité E, on applique deux cordes EIL, & EFHK qui passant sur les deux poulies G & F arrêtées aux deux côtés du Navire & venant repasser sur les poulies I & H, montent ensuite verticalement jusqu'à l'axe MN de la rouë OP, & s'enveloppent chacune de différens côtés sur cet axe. Il est clair que lorsqu'on fait tourner la rouë OP dans un certain sens, une des cordes se lâche, en même tems que l'autre se roidit, & doit tirer le timon vers le flanc du Navire. La force des Matelots ou des *Timoniers* doit se trouver multipliée autant de fois que le rayon de la rouë est plus grand que le rayon de son essieu, & que la longueur du timon est plus grande que la demie largeur du gouvernail. Dans les plus grands Vaisseaux le timon AE peut avoir 30 pieds de longueur; ce qui donne déja un avantage considérable à la force motrice, elle est appliquée à quinze fois plus de distance, & son moment doit donc être quinze fois plus grand. D'un autre côté le rayon de la rouë OP peut être trois ou quatre fois plus grand que le rayon de l'axe ou de l'arbre MN; ce qui multiplie la force encore trois ou quatre fois. Ainsi faisant abstraction du frotement qui ne laisse pas d'être considérable; la force de chaque *Timonier* est multipliée quarante-cinq ou soixante fois; & il suffit par conséquent de faire un effort de vingt livres pour en soutenir un de neuf cens, ou de douze cens livres que feroit l'eau par son choc contre le gouvernail. C'est aux Anglois que nous devons cette disposition.

Fig. 27.

Les personnes qui ont ignoré la science du mouvement, ont admiré de tout tems l'effet du gouvernail, qui ayant si peu de rapport au Vaisseau par sa grandeur, réussit cependant d'une maniere si infaillible à le faire changer de direction. Lorsque le Navire suit constamment une certaine route, toutes les puissances à l'action desquelles il est sujet

sont exactement en équilibre les unes avec les autres: l'effort du vent sur les voiles de la prouë, se contrebalance exactement avec l'effort du vent sur celles de la poupe; & la somme de ces efforts est aussi parfaitement en équilibre avec celui que fait l'eau en choquant la carène. Ainsi il ne faut pas toucher au Navire le moins du monde, si on veut que cet équilibre subsiste, & que le sillage continue à se faire sur la même ligne. Mais si par la Mécanique que nous venons d'expliquer, on fait tourner le gouvernail tout à coup, & que situé qu'il étoit sur le prolongement de la quille, on lui donne une situation oblique; l'eau le frapera avec d'autant plus de force, que le Navire singlera avec plus de vitesse; l'équilibre sera alteré, & le sera d'autant plus que le gouvernail étant appliqué à l'extrémité de la quille, & à une grande distance du centre de gravité du Navire, est situé très-avantageusement pour agir avec une grande force relative. Le gouvernail sera poussé en arriere, mais il sera poussé en même tems de côté, à cause de sa position oblique; & si le premier effort ne fait que ralentir un peu la promptitude du sillage, il est clair que le second doit transporter la poupe de côté, & faire tourner le
Fig. 28. Vaisseau. On n'a pour voir tout cela qu'à jetter les yeux sur la figure 28 qui représente un Navire réduit, pour ainsi dire, à la quille AB. Le gouvernail AC est poussé par l'eau selon une direction DE qui lui est perpendiculaire, comme on l'apprend en Mécanique. Mais il y a nécessairement une partie de cet effort qui s'employe à pousser de côté selon DF; & c'est cet effort partial qui est peu considérable en lui-même, mais qui est capable d'une grande action, vû la longueur du levier dont il est aidé, qui fait tourner le Vaisseau, en faisant passer la poupe de A en *a*, en même tems que la prouë passe de B en *b*. Toutes les fois donc qu'on met le gouvernail dans une situation oblique; qu'on le fait avancer du côté droit, par exemple, ou du côté de *stribord*, la poupe est jettée du côté opposé, du côté gauche ou de *basbord*; pendant que la prouë qui reçoit un mouvement contraire, doit tourner du même côté qu'on a tourné le gouvernail. Ceci est toujours vrai, lorsque le Na-

Digitized by Google

vire va de l'avant; au lieu que s'il reculoit, comme cela arrive quelquefois, ce feroit tout le contraire. En mettant le gouvernail à droit ou à gauche, le Navire (je veux dire fa prouë) fe détourneroit de l'autre côté; & cela par la même raifon. Fig. 28.

Un fi grand nombre de Géométres ont déterminé la fituation la plus avantageufe du gouvernail, que je crois pouvoir me difpenfer de donner une nouvelle folution de ce Problème. On a trouvé que le gouvernail doit faire avec le prolongement de la quille un angle CAE d'environ $54^d\ 44'$; il eft vrai qu'on a négligé une confidération, & que le Problême n'eft rigoureufement bien refolu, que lorfqu'on fuppofe que la largeur du gouvernail eft infiniment petite, par rapport à la longueur du Navire. Qu'on diminue un peu l'angle CAE, ou qu'on raproche un peu plus le gouvernail du prolongement de la quille, l'impulfion de l'eau fera un peu moindre; mais d'un autre côté elle fera appliquée à une plus grande diftance du centre de gravité G & agira plus efficacement: car le milieu D du gouvernail dans lequel l'effort fe réunit,fe fera un peu éloigné du corps du Navire. Pour avoir la longueur du bras de levier auquel l'effort abfolu eft appliqué, il faut abaiffer du centre G une perpendiculaire GI fur la direction IDE; & il eft également clair qu'on ne peut diminuer l'angle EAC, fans rendre le bras de levier GI un peu plus long. Tout contribue donc à montrer que l'angle déterminé par les folutions ordinaires, dans lefquelles on n'a pas fait entrer cette attention doit être un peu corrigé: Mais on trouve en examinant la chofe, que le changement ne doit être tout au plus que des trois quarts d'un degré. Supofé que b defigne la diftance AG du centre de gravité G du Navire à l'extrémité A de la poupe, & a la demie largeur DA du gouvernail; on aura $-\frac{a^2}{3b}+\sqrt{\frac{a^4}{9b^2}+\frac{1}{3}a^2}$ pour le finus du complement de l'angle CAE que doit faire le gouvernail avec la quille, lorfqu'on fait fervir la demie largeur a de finus total. Cette expreffion devient $a\sqrt{\frac{1}{3}}$, auffi-tôt qu'on fu-

pose *b* infinie, comme l'avoient fait tous les Auteurs qui avoient examiné le même Problême. On pourra, si on le veut, joindre à la considération que nous venons de faire, l'attention qu'à eu M. Pitot de distinguer la direction de l'eau qui choque le gouvernail, de la direction de la quille *, lesquelles sont effectivement différentes dans toutes les routes obliques.

* Voyez la Théorie de la Manœuvre des Vaisseaux, &c. Sect. 7.

Du Cabestan.

II.

Pour élever plus aisément les vergues ou les abaisser; lever les ancres & faire différentes autres manœuvres, on a toujours dans les Vaisseaux des *vindas* ou *treuils* que les Marins nomment *cabestans*. J'en ai représenté un dans la figure 29; lequel sert en même tems dans deux différens étages ou entreponts du Vaisseau: il a de diamétre environ la onziéme partie de la largeur du Navire. Le cordage qu'on veut roidir doit s'enveloper sur la partie CD ou sur la partie EF qui étant faite à redans, est capable de le soutenir, quoiqu'il ne fasse qu'un très-petit nombre de tours, & qu'on le dévelope presque toujours par l'autre bout. On voit aussi les trous dans lesquels on fait entrer les leviers I, G, K, &c. dont chacun qui forme comme un rayon a 10 ou 12 pieds de longueur dans les plus grands Navires, & est quatre ou cinq fois plus grand que le rayon du cabestan. Ainsi la force de chaque homme lorsqu'elle est appliquée à l'extrémité d'une *barre* ou d'un de ces leviers, est multipliée dans le même rapport; elle est multipliée quatre ou cinq fois, puisqu'elle est aidée par un bras de levier, quatre ou cinq fois plus long. C'est à peu près la même chose de l'effort des Matelots qui agissent sur des cordes tendues de l'extrémité d'une barre à l'autre: mais ceux qui sont plus près du cabestan, ont beaucoup moins d'avantage, & la force de chacun en prenant le terme moyen, n'est gueres multipliée que trois fois. Quelquefois plus de 110 ou 120 Matelots travaillent en même tems; & alors la machine

Fig. 29.

fait donc le même effet que si trois ou quatre cens hommes agissoient ensemble.

Il est assez facile de se tromper dans l'estimation de la force qu'employe chaque Matelot ; & on ne croira peut être qu'avec peine qu'il ne faut gueres compter que sur un effort de 20 ou 25 livres. On doit cependant remarquer que ce n'est pas ici le cas où un homme chargé d'un grand poids, peut soutenir deux ou trois cens livres, parce que toute sa force, sans qu'il y en ait rien de perdue, est employée efficacement à porter le fardeau. Les Matelots en travaillant au cabestan ne poussent les barres ou les leviers qu'obliquement, en s'appuyant contre le pont ; & de toute leur force, quoique fort grande, il n'y a que la petite partie qui s'exerce horisontalement qui soit capable d'effet. Leur premier effort, lorsque la machine ne tourne point encore, doit être plus grand ; parce que leurs pieds étant stables, ils n'ont qu'à se roidir le plus qu'ils peuvent. Mais aussitôt que le cabestan est en mouvement, les Matelots sont obligés de marcher ; ils n'ont plus ni le tems ni la facilité de s'*arcbouter* comme ils le faisoient d'abord : d'ailleurs leurs efforts ne sont pas parfaitement simultanés ; & toutes ces raisons sont cause que la force commune ou moyenne de chacun, n'est tout au plus que de la quantité que nous avons spécifiée. Il suit de tout cela que le grand cabestan dans les plus grands Vaisseaux, n'est capable par sa seule action que d'un effort absolu de 10 ou 12 milliers.

Le grand cabestan est placé en arriere ; afin de joindre à ses autres usages, l'avantage de servir plus aisément aux manœuvres du grand mât : L'autre cabestan lorsqu'il y en a, se met en avant ; & est situé à peu près par rapport au mât de misaine ou au second mât, comme le grand cabestan l'est par rapport au premier.

Dans les plus petits Navires, où l'équipage est peu nombreux, on n'a qu'un seul cabestan situé horisontalement, au pied du second mât, & qui occupe toute la largeur du Navire. On nomme ordinairement ce cabestan *vi-*

revau. Les Matelots qui le font tourner, se mettent tout le long, & chacun peut faire un effort de 60 ou 80 livres; parce qu'en s'appuyant sur le levier, il le charge de presque toute sa pesanteur. Il est vrai que cet avantage est suivi de l'incommodité où l'on est de changer les barres de place, d'instant en instant; ce qui est cause que le mouvement ne peut pas être si continu, que dans le cabestan vertical. Toutes ces Machines ont toujours des entailles pour recevoir l'extrémité d'un morceau de bois ou d'une espece de cliquet qui permet le mouvement dans un sens & qui s'y oppose dans l'autre. Les Matelots ont de cette sorte le tems de reprendre haleine; & se trouvent à couvert du péril auquel ils seroient quelquefois exposés, d'être renversés & blessés par le retour des barres.

CHAPITRE II.

De la nécessité d'avoir des pompes dans les Vaisseaux, & de la maniere de les disposer.

MALGRÉ l'extréme attention avec laquelle on applique les *bordages* du Navire, & qu'on interdit tout passage à l'eau, elle ne laisse pas encore de s'introduire; & si on ne se précautionnoit pas contre un mal qui iroit toujours en augmentant, on se trouveroit bientôt dans le dernier péril. On ne manque jamais pour éviter ce malheur, d'avoir plusieurs pompes, ordinairement quatre, placées au milieu du Navire, de celles qu'on nomme Aspirantes & dont on doit la premiere invention à *Ctesibius*, Mathématicien d'Alexandrie. La science Hydraulique fournit plusieurs autres machines pour élever les eaux; mais la pompe aspirante doit être préferée dans les Navires, à cause du peu d'espace qu'elle occupe. Les Anglois ont quelquefois recours à l'usage de la machine nommée *Chapelet* qui puise beaucoup d'eau en peu de tems. Dans

les Vaiſſeaux Chinois, on partage ſouvent la cale ou la capacité interieure en un grand nombre de cellules, afin que ſi l'eau trouve le moyen de s'inſinuer dans quelques unes, l'entrée dans les autres lui ſoit encore interdite. Si cet uſage a ſes avantages, il a auſſi ſes inconveniens : Il embaraſſe la cale ; & comme il peut arriver outre cela dans les abordages, que la force du coup ſoit ſi grande, que toutes les cellules s'entrouvrent en même tems, il eſt ſans doute toujours plus ſûr d'avoir des pompes, pour s'en ſervir au beſoin, au moins lorſqu'on navige ſur notre Océan. Les quatre qu'on met ordinairement au pied du grand mât, ſont renfermées par quatre cloiſons dans le fond de cale, & ce retranchement ſe nomme *l'archipompe*.

On forme preſque toujours les pompes d'une longue piece de bois (d'ormeau) qu'on taraude ou qu'on perce dans le ſens de ſa longueur, & le trou a quatre ou cinq pouces de diamétre. On voit dans la figure 30 une de ces pompes dont AB eſt le *corps* & AD eſt le *piſton* ou *bâton*, dont j'ai repréſenté à côté l'extrémité inférieure en grand, que les Marins nomment *heuſe* ; & S eſt la *ſoupape*, qu'ils nomment *clapet*. On voit en C une ſoupape ou *clapet*, qui ne s'ouvre auſſi qu'en deſſus & qui ſert à retenir l'eau qu'on a déja fait monter, & qui par les coups redoublés du piſton, doit parvenir juſqu'à l'ouverture G par où elle ſort. Cette ſoupape C eſt renfermée dans une autre boëte cilindrique nommée *chopine*. On remarquera que ces pompes ne ſont abſolument qu'*aſpirantes* ; car lorſqu'on tire en haut le piſton, la ſoupape S ſe ferme, il ſe fait une eſpece de vuide dans la pompe, & l'eau monte de la même maniere qu'elle entre dans une ſeringue dont on tire à ſoi le piſton. L'eau en un mot eſt *aſpirée* & elle ne peut pas retomber, parce que la ſoupape C qui lui a permis l'entrée lui refuſe la ſortie. Mais auſſi-tôt que l'eau eſt parvenue aſſez haut, le piſton commence à faire une nouvelle fonction : on ne peut pas le faire deſcendre ſans qu'il n'atteigne l'eau & ne la puiſe. Cette eau en s'ouvrant la ſoupape S, paſſe au-deſſus & vient vers l'ouverture G par le jeu du piſton vers

Fig. 30.

Fig. 30. le haut, pendant que d'autre eau en dessous remonte encore pour remplir le nouveau vuide. Quelquefois le levier ou la *brimbale* EF est appliquée immédiatement au piston, & soutenue par un des côtés du corps de la pompe, qui s'éleve d'un pied ou d'un pied & demi ; mais le plus souvent ce levier est suspendu en l'air à 9 ou 10 pieds de hauteur ; & on aplique à son extrémité F diverses cordes qui donnent la facilité à un grand nombre de Matelots d'agir ensemble. Cette disposition qui a d'abord été particuliere aux Venitiens, en a pris le nom.

Tous les Lecteurs qui sont un peu initiés dans la Physique, sçavent que le jeu ou le mouvement HI du piston doit se faire à moins de 32 pieds de hauteur HB, au-dessus de la surface OL de l'eau. Si cette hauteur étoit un peu plus grande, l'air qui en s'appuyant sur la surface OL par son poids & qui en la comprimant par tout, excepté dans la pompe, doit la faire monter, n'auroit pas assez de force pour la soutenir jusqu'au piston ou pour la faire remonter encore. Ce n'est point ici le lieu d'expliquer de quelle maniere s'exerce la pesanteur de l'air ; comment on sçait qu'elle est égale à celle d'une hauteur de 32 pieds d'eau, ni comment cette force, quoique si considerable & quoi qu'elle agisse sans cesse, ne se fait pas néanmoins sentir à nous, en nous pressant. Nous bornant à notre sujet, nous nous contenterons de dire que cette force fait monter l'eau dans une pompe & qu'elle ne le fait pas dans un tuyau placé verticalement & ouvert par les deux extrémités ; parce que si elle comprime la surface de l'eau hors du tuyau, elle la comprime aussi & également dans le tuyau même, & l'empêche de monter. Il faut donc que le piston fasse par son jeu dans la pompe une espece de vuide ; mais ce n'est pas assez qu'il descende à moins de 32 pieds, il faut qu'il descende encore beaucoup plus bas ; autrement l'eau après s'être élevée jusqu'à un certain terme, ne le passeroit pas, quoi qu'on pompât sans cesse, ou qu'on tint le piston continuellement en mouvement.

Pour avoir un exemple de cet arrêt dans l'élevation de l'eau,

Digitized by Google

l'eau, on n'a qu'à ſuppoſer que l'eau eſt déja parvenue juſqu'en K à ſeize pieds de hauteur, & que le piſton par ſon jeu, ne reduiſe qu'à la moitié l'eſpace qui eſt au-deſſus dans la pompe. C'eſt-à-dire, que ſi IH eſt le jeu du piſton ou l'eſpace qu'il parcourt ; nous ſuppoſons que l'eſpace HK qui reſte au-deſſous eſt égal à IH. Lorſque le piſton deſcend juſqu'en H, tout l'air qu'il y avoit de trop dans l'eſpace IK ſort par la ſoupape S; & il n'en reſte qu'autant qu'il en peut entrer dans ſon état naturel dans l'eſpace KH. Mais auſſi-tôt qu'on fait remonter le piſton juſqu'en I, l'air extérieur ſe ferme lui-même le paſſage, en preſſant la ſoupape S par deſſus, & l'air interieur qui occupoit HK doit s'étendre dans tout l'eſpace KI deux fois plus grand. Ainſi cet air deux fois plus dilaté, aura deux fois moins de reſſort; car on ſçait que l'air tend toujours à s'étendre, mais qu'il tend moins à le faire à meſure qu'il lui a déja été permis de s'étendre davantage, & que ſa force élaſtique, qui ſe met toujours en équilibre avec le poids qui le comprime, ſuit préciſement la raiſon inverſe de ſes dilatations. L'air contenu en KI, au lieu d'avoir un reſſort égal en force à la peſanteur d'une colomne d'eau de 32 pieds de hauteur, n'en aura donc que la moitié ; & en faiſant effort pour ſe dilater, il preſſera par conſéquent la ſurface K de l'eau qui eſt dans la pompe avec la même force que le feroit une colomne d'eau qui ſeroit au-deſſus & qui auroit 16 pieds de hauteur. Mais cette preſſion étant ajoutée avec le poids même de la colomne d'eau KB qu'on a ſuppoſé de 16 pieds, le tout fait un effort équivalent à la peſanteur d'une colomne de 32 pieds; & puiſque la preſſion que fait l'air extérieur ou l'Atmoſphere ſur la ſurface OL, eſt limitée à ce même poids, il eſt certain qu'elle pourra bien entretenir l'équilibre, & empêcher l'eau de retomber, mais non pas la faire monter d'une ſeule ligne plus haut. La preſſion de l'air extérieur, je le repete, tend à faire entrer continuellement de nouvelle eau par le bas de la pompe avec une force égale à la peſanteur de 32 pieds de hauteur d'eau; & il eſt vrai qu'il n'y a que 16 pieds d'eau en BK : mais Fig 30.

M

Fig. 30. d'un autre côté l'air qui est en dessus dans l'espace KI, quoique dilaté, agit encore par son ressort avec une force de 16 pieds, & ce ressort joint avec le poids de la colomne BK, doit suspendre l'effet de la compression extérieure que forme continuellement l'atmosphere, sur OL. On redoublera inutilement les coups de piston; car en le faisant descendre & en l'élevant ensuite, on reduira l'air HK à son état naturel, & sur le champ on le rendra deux fois plus dilaté; ce qui ne fera jamais diminuer sa force élastique que de moitié, & la rendre égale au poids de 16 pieds d'eau.

Ce sera la même chose dans une infinité d'autres cas; l'eau s'arrêtera à une certaine hauteur; & il ne sera jamais difficile de déterminer *les points d'arrêt*, aussi-tôt que le jeu du piston sera *donné*, de même que sa hauteur au-dessus de la surface de l'eau. Lorsque l'eau s'arrête, il faut nécessairement, ainsi qu'on vient de le voir, qu'il y ait un équilibre parfait entre tout le poids de l'atmosphere d'un côté qui s'appuye sur la surface extérieure OL, & de l'autre le poids de la colomne d'eau BK qui tend à redescendre, aidée outre cela de l'effort que fait l'air qui est au-dessus en KI, pour se dilater encore davantage, & qui pousse en bas la colomne KB. Cet air dans son état naturel occupoit l'espace HK; mais lors qu'on hausse le piston, il occupe tout l'espace KI. Pour sçavoir combien il a encore de force élastique, après sa dilatation, il n'y a qu'à faire cette analogie; KI est à HK, comme sa force élastique dans son état naturel, égale à la pesanteur d'une colomne d'eau de 32 pieds de hauteur, & que nous exprimerons par 32, est à $\frac{HK \times 32}{KI}$, pour l'effort que fait encore l'air KI. Or ajoutant cet effort avec la pesanteur de la colomne BK qu'on peut exprimer par sa hauteur même, nous aurons $\frac{HK \times 32}{KI} + BK$ pour la force totale avec laquelle l'eau tend à sortir par le bas de la pompe. Mais elle en est empêchée par la pression de l'atmosphere sur la surface OL; & cette

Digitized by Google

pression étant exprimée par 32 pieds, nous aurons dans l'état d'équilibre l'équation $\frac{HK \times 32}{KI} + BK = 32$, & si on multiplie de part & d'autre par KI, il viendra $HK \times 32 + BK \times KI = KI \times 32$; & $BK \times KI$ $(= KI \times 32 - HK \times 32) = IH \times 32$. Ainsi on voit que pour trouver le point d'arrêt K, ou que pour obtenir le cas de l'équilibre entre la pesanteur de l'atmosphere & la force totale avec laquelle l'eau tend à redescendre dans la pompe, il n'y a qu'à partager la plus grande élevation BI du piston en deux parties BK & KI qui soient telles que leur rectangle soit égal à celui de 32 pieds par l'étendue HI du jeu même du piston ; ce qu'on peut exécuter par une construction très-simple. Fig. 30.

Le cas de l'équilibre a lieu lorsque $BK \times KI = IH \times 32$. Mais si au lieu de la premiere équation $\frac{HK \times 32}{KI} + BK = 32$, on supose que l'effort extérieur que fait le poids de l'atmosphere pour élever l'eau dans la pompe, effort qui est exprimé par le second membre, est moindre que l'effort que fait l'eau pour descendre, poussée qu'elle est par l'air intérieur qui est au-dessus, on aura $\frac{HK \times 32}{KI} + BK > 32$ pour tous les cas où l'eau doit retomber; & on en déduira $BK \times KI > IH \times 32$. On trouvera au contraire $BK \times KI < IH \times 32$ pour tous les cas où la pompe doit produire son effet en élevant l'eau. Or il suit de là qu'il suffit de déterminer le point d'arrêt indiqué par l'équation $BK \times KI = IH \times 32$, pour faire le partage entre les cas où la pompe éleve l'eau & ceux où elle la laisse redescendre.

Ayant tiré une droite AB (Fig. 31.) pour représenter la hauteur de la pompe, & pris sur cette ligne l'espace HI pour représenter le jeu du piston dont HB marque la moindre hauteur au-dessus de la surface de l'eau & BI la plus grande; il n'y a qu'à porter au-dessus du point I l'espace IM de 32 pieds. Si la pompe étoit destinée à servir sur les plus hautes montagnes, ou dans les cavernes les plus profondes, il ne faudroit pas faire IM de 32 pieds, mais de la Fig. 31.

Fig. 31. hauteur de la colomne d'eau qui fait équilibre avec la pesanteur de l'atmosphere dans ces endroits, ou qui est environ 14 fois plus grande que la hauteur du mercure dans le Barométre. On décrira ensuite le demi-cercle HNM sur HM comme diamétre, & élevant la perpendiculaire IN au point I de BM, le quarré de cette perpendiculaire sera égal au rectangle du jeu HI du piston par 32 pieds. Ainsi pour diviser BI en deux segmens BK & KI dont le rectangle soit égal à celui de HI par 32 pieds; il n'y a qu'à faire ce premier rectangle égal au quarré de IN. On tracera pour cela le demi-cercle IRB sur IB comme diamétre, & tirant Nr parallelement à IB, & abaissant des points où cette ligne coupe la demie circonference IRB des perpendiculaires sur IB, on aura en K & en *k* deux points d'arrêt: car les rectangles de B*k* par *k*I, ou de BK par KI seront l'un & l'autre égaux au quarré de KR ou de IN qui est égal au rectangle de HI par l'espace IM de 32 pieds. C'est-à-dire donc que lors qu'on fera agir la pompe, l'eau montera jusqu'en *k*, mais ne montera pas plus haut. Elle s'arrêtera également en K; au lieu que dans tous les points d'entre deux, elle retomberoit. Au-dessus & au-dessous de l'espace *k*K la pompe doit élever l'eau, parce que $BK \times KI < IH \times 32$; au lieu que dans l'espace *k*K, elle doit être privée de son effet, & l'eau doit retomber; parce que $BK \times KI > IH \times 32$. Plus le jeu IK du piston est grand, les autres conditions restant les mêmes, plus IN est grande & plus les points R & *r* deviennent voisins l'un de l'autre, de même que K & *k*. Mais si le jeu du piston étoit assez grand, ou si IB étoit assez petite, pour que NR ne coupât plus la circonference IRB; alors il n'y auroit plus de point d'arrêt ni d'espace *k*K à craindre.

Nous pouvons de là inferer cette regle, que pour que l'effet de la pompe soit infaillible, il faut que la moitié de BI soit moindre que IN; ou ce qui revient au même, qu'il faut que le quarré de la moitié de la hauteur du piston, lorsqu'il est élevé, soit moindre que le rectangle de son jeu HI par 32 pieds ou par IM. Si le jeu du piston est de

Digitized by Google

deux pieds, le rectangle dont il s'agit, sera de 64, & il faudra par conséquent que BI ne soit pas de 16 pieds. On pourroit pour plus de sûreté mettre la soupape C (Fig. 30.) tout-à-fait en bas du corps de pompe & faire ensorte que le piston vint y toucher. Alors la pompe ne manqueroit jamais : car lorsqu'on tireroit le piston en haut, ce ne seroit plus de l'air dilaté & capable d'un certain ressort qui se trouveroit au-dessous ; ce seroit du vuide ou de l'éther dont l'action ne doit pas être comptée & qui ne s'opposeroit point à l'élevation de l'eau. Mais d'un autre côté il faudroit travailler beaucoup en pompant, à cause de la plus grande colomne d'eau que le piston auroit à élever chaque fois : cette colomne auroit toute la hauteur CG. Une des principales attentions qu'on doit avoir c'est de remedier à la négligence des ouvriers qui s'occupent dans nos ports à construire ces instrumens. Ils les font toujours avec si peu de justesse, qu'il s'en faut souvent beaucoup que le piston ne remplisse exactement le corps de la pompe ; cela est cause qu'il faut verser l'eau dans l'espace AD afin d'interdire à l'air extérieur toute entrée, & il faut encore que les mouvemens des Matelots qui font agir le piston soient extrémement vifs. On est obligé dans les meilleurs Vaisseaux d'avoir recours à la pompe de tems en tems, quelquefois d'heure en heure, quelquefois plus souvent ; exercice qui est si penible que rien ne fatigue davantage l'équipage. Fig. 31.

On gagneroit considérablement à faire les pompes avec plus de soin, à faire ensorte que les deux soupapes se fermassent exactement, & sur tout à donner assez de grosseur au bas du piston, pour que l'air ne trouvât point de passage autour. Il est vrai qu'il y auroit ensuite un plus grand frotement à vaincre ; mais les Matelots ayant la liberté de travailler plus à loisir, pourroient faire en trois ou quatre fois plus de tems, ce qu'ils font obligés de faire maintenant en peu de minutes, & le travail dont il s'agit n'auroit plus rien de pénible. Quelques personnes ont cru qu'on pouvoit mettre sur les deux côtés du Vaisseau deux espe-

ces de Moulins, qui tournant par le choc de l'eau, pendant que le Navire fait ſa route, fiſſent jouer les pompes. Il n'y a point de doute que ce moyen ne réuſſit, malgré quelques inconveniens conſidérables auſquels il ſeroit ſouvent ſujet: dans le roulis ou dans les balancemens que le Navire fait d'un côté à l'autre, un des Moulins entreroit preſque entierement dans l'eau, & l'autre en ſortiroit. Outre cela le ſillage en ſeroit conſidérablement retardé; & il ſemble, lorſqu'un Navire reçoit ou *fait beaucoup d'eau*, qu'on doit s'attacher au contraire à rendre la viteſſe de ſa marche encore plus grande, afin de ſortir plus promptement de péril.

C'eſt ce qui me fait ſoupçonner qu'au lieu de ſe ſervir de l'effort de l'eau pour faire agir les pompes, il vaudroit incomparablement mieux employer une autre force. Je ne ſçai ſi on ne pourroit pas ſans trop de difficulté appliquer ſur la poupe en arriere de l'artimon une eſpece de Moulin à vent, ou avoir au moins toujours prêtes les pieces néceſſaires pour en compoſer les volans ou les aîles; & on les diſpoſeroit dans les beſoins preſſans. Ces volans ſeroient placés à l'extrémité d'un axe coudé ſitué horiſontalement, & une corde qui y ſeroit attachée & qui paſſeroit par quelques poulies pour changer ſa direction, viendroit ſe rendre au-deſſus de la pompe, & ſuſpendroit le piſton, lequel monteroit lorſque la corde le tireroit en haut, & deſcendroit au contraire par ſon propre poids ou par l'action de quelques Matelots, lorſque la corde ſe lâcheroit, pendant l'autre demi-tour de l'axe coudé. Cette machine, qui comme on le voit, eſt extrémement ſimple, agiroit toujours & pourroit faire par la continuité & la durée de ſon exercice, ce qu'on ne réuſſit à faire chaque jour que par repriſes, mais avec un travail ſous lequel la plus grande force des hommes ne ſuccombe que trop ſouvent.

CHAPITRE III.

Des Ancres & des Cables.

I.

NOUS ne prétendons pas expliquer généralement l'usage de tous les *apparaux* ; il suffit que nous parlions des plus considérables, & de ceux principalement sur lesquels nous avons quelques remarques à faire. Les cables & les ancres sont d'un usage indispensable, pour retenir le Vaisseau dans une rade, où il est quelquefois exposé à toute la fureur du vent & de la Mer. Chaque Navire a au moins cinq ou six cables de différentes grosseurs ; & pour regler celle du plus gros qu'on nomme ordinairement le *maître cable*, on lui donne de circonférence la vingt-quatriéme partie de la largeur du Navire ; ou ce qui revient au même, on lui-donne autant de pouces de circonférence, que la moitié de la longueur du maître bau contient de pieds. Suposé que le Vaisseau ait 48 pieds de largeur, on doit donner selon cette regle, 24 pouces de circonférence à *son maître cable*, & on ne lui en donneroit que 10 si le Navire n'avoit que 20 pieds de bau. Les cables suivans ont quelques pouces de moins de grosseur ; & cette grosseur se désigne toujours dans la Marine par la circonférence. En France, les cables les plus gros comme ceux qui le sont moins, ont également 600 pieds de longueur ou 120 brasses ; car la brasse est toujours prise pour une mesure de cinq pieds.

Il seroit presque toujours à propos que les cables fussent encore plus longs ; car on est souvent obligé d'en mettre plusieurs à l'extrémité l'un de l'autre par les raisons que nous expliquerons plus bas. Mais il est assez difficile de les faire d'une seule piece de plus de 600 pieds ou de 120 brasses. Les premiers fils dont ils sont formés sont plus

longs d'une moitié ; ils ſont de 180 braſſes, lorſqu'on veut que le cable ſoit de 120 ; de ſorte qu'ils perdent un tiers de leur longueur, par la maniere dont on les tourne en les *cablant*. Il faudroit donc que les premiers fils fuſſent plus longs à proportion, ſi on vouloit donner plus de longueur aux cables ; & cette longueur feroit naître dans l'exécution diverſes difficultés.

Une remarque qui peut ſervir dans différentes rencontres, c'eſt que le poids en livres d'une braſſe de cordage eſt à peu près la cinquiéme partie du quarré de ſa groſſeur exprimée en pouces. Cette regle ſera toujours aſſez exacte ; principalement lorſque le cordage ſera bien fait & ne ſera pas trop chargé de gaudron. * Pour ſçavoir, par exemple, combien peſe une braſſe ou une piece de 5 pieds de long, d'un cable qui a 24 pouces de circonférence, il n'y a qu'à multiplier 24 par 24 ; & en prenant la cinquiéme partie du produit, on aura $115\frac{1}{5}$ livres pour la peſanteur de cette piece ; & tout le cable qui eſt 120 fois plus long peſera donc 13824 livres. Si le cable a 10 pouces de circonférence, un morceau d'une braſſe peſera par la même raiſon 20 livres, qui eſt la cinquiéme partie du quarré de 10 ; & le cable entier peſera par conſéquent 2400 liv. On peut auſſi trouver immédiatement ce dernier poids, en multipliant le quarré de la groſſeur toujours par 24.

* Les Cordiers ſont intereſſés à faire entrer trop de gaudron dans leurs cables, parce qu'ils vendent enſuite cette matiere au poids, le même prix que le chanvre, quoi qu'elle leur coute moins.

I I.

Les cables ne ſont utiles que par le moyen des ancres, dont on voit la forme dans la figure 32, qui les rend propres à s'engager dans le ſable ou dans la vaſe du fond de la Mer. Les ancres en France, en Angleterre & en Hollande ne ſont que de fer forgé ; mais on en voit ſouvent de bronze en Eſpagne, de même que dans les Ports de la Mer du Sud. La partie AD ſe nomme la *verge* à l'extrémité de laquelle il y a une boucle ou *organeau* E. Les *deux bras* ſont AB & BC, & les parties KC & IB ſont les *pattes*. On place toujours perpendiculairement à l'extrémité D de la verge & dans le ſens perpendiculaire aux bras

Fig. 32.

bras une piece de bois FG qui eſt de même longueur que la verge, & qui ſert à faire tomber infailliblement l'ancre ſur une de ſes pattes; on nomme cette piece de bois le *jas*. Les deux bras forment ordinairement un arc de cercle dont le centre H eſt aux trois huitiémes de la verge, à commencer du point A; & chaque bras eſt auſſi égal aux trois huitiémes de la verge, ou eſt égal au rayon; de ſorte que les deux enſemble forment un arc de 120 degrés. Les pattes ont de longueur la moitié de celle des bras & leur largeur eſt les $\frac{2}{5}$ de la longueur du même bras. A l'égard de la groſſeur, on donne ordinairement de circonférence à la verge dans ſon *encolure* en A, & c'eſt la même choſe aux bras à leur naiſſance, la cinquiéme partie de ſa longueur; vers l'autre extrémité, on ne donne à la verge que les deux tiers de cette groſſeur, & chaque bras en a les trois quarts auprès de ſa patte. Ces dimenſions doivent être un peu augmentées, lorſque le fer n'eſt pas de bonne qualité; & elles devroient l'être beaucoup plus, ſi au lieu de fer forgé dont on ſe ſert toujours, on vouloit ſe ſervir de fer fondu.

Lorſque les proportions précédentes ſont obſervées, une ancre de 16 $\frac{1}{4}$ pieds de longueur peſe environ 7000 livres: je dis environ, parce que l'ouvrier en n'affoibliſſant que très-peu certaines parties, ou en leur donnant un peu plus de force, peut faire varier conſidérablement le poids. Mais ſi toutes les ancres ſont ſemblables, comme on tâche de les faire, leur peſanteur doit ſuivre la proportion du cube de leur longueur. Pour trouver cette peſanteur en livres par un moyen aſſez commode, il n'y a qu'à meſurer la longueur de l'ancre en pouces, prendre le cube de cette longueur, & le diviſer toujours par 1160. Ainſi ſupoſé que la verge de l'ancre ait 10 pieds de longueur ou 120 pouces, il n'y a qu'à diviſer 1728000 qui eſt le cube de 120 par 1160, & il viendra 1545 livres pour la peſanteur de l'ancre dont il s'agit. Lors qu'au lieu de connoître la longueur, on connoîtra la peſanteur en livres, il n'y aura qu'à la multiplier toujours par 1160 & extrayant la racine

cubique du produit, on aura la longueur de l'ancre exprimée en pouces.

Pour faire ces deux opérations avec plus de facilité, il n'y a qu'à tripler le Logarithme du nombre des pouces de la longueur de l'ancre & en retrancher toujours le nombre constant 3.0644580, pour avoir le Logarithme du nombre de livres que pese l'ancre. Lorsqu'au contraire la pesanteur de l'ancre sera donnée en livres, il n'y aûra qu'à ajouter toujours à son Logarithme le nombre 3.0644580, & prenant le tiers de la somme, il viendra le Logarithme de la longueur de l'ancre en pouces.

Les moindres Vaisseaux ont cinq ou six ancres, & les plus grands en ont ordinairement huit. On a dans la Marine diverses regles pour déterminer la grandeur de celles qui doivent servir à chaque Navire. Pour des raisons qui regardent la commodité de la manœuvre, on ne peut guéres donner de longueur à la plus grosse ou à la *maîtresse ancre* pour parler comme les Marins, que les $\frac{1}{3}$ du bau, & on s'en est fait une regle. Une autre maxime, mais qui ne s'accorde pas avec la premiere, comme nous le montrerons dans un instant, c'est que l'ancre ait de pesanteur la moitié de celle du cable. Ainsi pour les Vaisseaux du premier rang qui ont 48 pieds de bau, & dont le cable a 24 pouces de circonférence, & pese 13824 livres, la maîtresse ancre doit peser 6912 livres, & les autres ancres doivent de même avoir la moitié du poids du cable auquel onles applique. La plus petite des ancres est celle qui sert à *toüer*, ou celle qui sert de point fixe dans une Rade, ou dans un Port, pendant qu'on fait avancer le Navire en tirant sur un cordage appliqué à cette ancre. L'ancre à *toüer* a le tiers de la pesanteur de la maîtresse ancre; de sorte que dans les Vaisseaux du premier rang, elle doit peser environ 2300 livres & avoir environ 11 pieds 7 pouces de longueur.

Il est très-facile de reconnoître que les deux regles que nous venons d'indiquer, ne peuvent pas se concilier; & cependant on les joint tous les jours l'une à l'autre, comme si

Digitized by Google

elles donnoient le même résultat, sans que l'expérience qui devoit suffire pour détromper les Marins sur cette prétendue conformité, les en ait fait apercevoir. Lors qu'on donne de longueur à la plus grosse ancre, les $\frac{1}{8}$ du bau ou de la largeur du Navire, la pesanteur de l'ancre est proportionnelle à la solidité des Vaisseaux supposés semblables. Si le Navire est deux fois plus large, l'ancre pesera 8 fois davantage. Mais selon la seconde regle la pesanteur de l'ancre est la moitié de celle du cable; & la pesanteur du cable est seulement proportionnelle au quarré du bau; puisque la seule grosseur du cable est différente dans les grands & dans les petits Navires, & que le cable a toujours la même longueur (120 brasses). Lorsque le Navire est donc deux fois plus large, le cable est simplement quatre fois plus pesant, & la pesanteur de l'ancre qui n'est aussi plus grande que dans le même rapport, est par conséquent deux fois moindre que selon la premiere regle. Cette excessive disconvenance n'eût pas sans doute échapé à l'attention des Marins, sans qu'on se contente toujours dans la Marine d'observer grossierement l'une & l'autre regle, & qu'on a attribué à ce défaut d'observation, les différences qu'on aura quelquefois apperçuës.

Quoique la seconde regle rende les ancres beaucoup moins pesantes dans les grands Vaisseaux, on peut néanmoins s'y conformer; parce que cette pesanteur est suffisante, aussi-tôt que le fond dans lequel l'ancre doit s'engager, n'est pas de pur sable fin & qu'il est mêlé de terre & de vase. Lorsque le fond est mauvais, on a le soin d'employer plusieurs ancres, & quelquefois on garnit leurs pattes avec des planches qui en s'engageant dans le sable ou dans la vase, forment une plus grande résistance; c'est ce qu'on nomme les *empeneler*, quoi qu'on employe plus souvent ce nom, lors qu'on met deux ancres à la suite l'une de l'autre. On charge aussi quelquefois l'ancre ou l'extrémité inférieure du cable de divers poids; & enfin ce qui est beaucoup plus ordinaire, & ce qui réussit presque toujours, on met plusieurs cables bout à bout. Ils frottent sur le fond

dans presque toute leur longueur, à cause de leur grande pesanteur; & ce frottement est cause qu'il ne tombe sur l'ancre qu'une partie beaucoup moindre de l'effort que fait le Navire. On *ne moüille*, ou on ne jette l'ancre que dans les endroits où la Mer n'a guere que 40 brasses de profondeur; & encore est-il à propos aussi-tôt que la profondeur de la Mer approche de ce terme, de mettre toujours deux cables bout à bout l'un de l'autre; si on n'en mettoit qu'un, sa partie inférieure ne s'appuyeroit presque point sur le sol, & l'ancre seroit obligée de soutenir toutes les secousses qui se transmettroient jusqu'à elle. Elle ne se dégageroit pas entierement du fond, mais elle le laboureroit, ou elle *chasseroit* pour parler en terme de Marine; & le Navire pourroit aller se perdre sur les premiers écueils.
Fig. 33. La figure 33 doit rendre tout ceci plus sensible. AD est l'ancre au fond de la Mer; & DMN est le cable qui retient le Vaisseau dont nous n'avons représenté que la prouë; on voit en N le trou ou *l'écubier* par lequel passe le cable pour entrer entre les deux ponts inférieurs. Le cordage AB appliqué à l'encolure ou à la croisée A, se nomme *l'orin* qui sert quelquefois à lever l'ancre, à *la lever par les cheveux* & qui sert aussi à retenir la *boüée* ou le tonneau vuide S qui indique l'endroit où il faut chercher l'ancre. Mais pour revenir à ce que nous disions de la longueur du cable, il est clair que si cette longueur est deux ou trois fois plus grande, l'ancre ne sera tirée qu'horisontalement & le sera d'ailleurs avec moins de force, parce que l'effort sera diminué de tout le frottement que souffre la partie DM contre le fond. Ce sera précisement la même chose, que lors qu'une longue corde traîne sur la terre; il ne faut à son extrémité qu'une très-petite pierre pour la retenir, lors qu'on la tire par l'autre bout; parce que la seule résistance que fait la terre au mouvement de la corde, forme déja un très-grand obstacle.

Un second avantage, lors qu'on met plusieurs cables au bout les uns des autres, c'est qu'ils se trouvent moins exposés à se rompre. Comme ils sont situés plus horisontale-

Digitized by Google

ment dans toutes leurs parties, leur force s'oppose plus efficacement ou plus directement au mouvement du Navire produit par le choc des vagues: au lieu que lors que le cable est moins long, il se trouve plus vertical, & il faut qu'il résiste davantage; parce qu'une plus grande partie de sa résistance se trouve perdue. Supposé que l'espace LO représente la force avec laquelle le Vaisseau tend à reculer, & qu'on acheve le rectangle LOPQ qui ait la portion LP du cable pour diagonale & qui soit formé par les deux lignes horisontales LO, PQ & les deux verticales OP; LQ, la diagonale LP représentera l'effort que le cable doit soutenir, & on voit qu'elle est plus grande que OL, & que plus le cable approche d'être vertical, plus elle augmente, quoique OL ne change pas. Il est donc évident que le cable plus court, est chargé d'un plus grand effort, & doit être plus gros & plus fort; car s'il n'avoit que la même grosseur, il ne fourniroit que la même résistance, selon sa propre direction; & il n'en fourniroit pas assez dans le sens horisontal, selon lequel le Navire tend à s'éloigner. Il n'est question, il est vrai, que de résister à l'effort horisontal OL; mais le cable, à cause de son inclinaison, ne peut résister à cet effort, qu'en fournissant assez de force, pour soutenir tout l'effort PL. Fig. 33.

Le cable est encore moins exposé à se rompre lorsqu'il est plus long, parce qu'il est plus capable de s'étendre; & que cette nouvelle extension suffit souvent pour differer sa rupture & pour l'éviter, en donnant le tems à l'effort que fait le Navire de s'épuiser ou de s'amortir. Un cable plus court n'étant pas capable d'un nouvel allongement, doit nécessairement se rompre aussi-tôt qu'il est exposé à un effort trop grand, parce qu'il faut qu'il soutienne tout cet effort & tout à coup: au lieu que le cable deux ou trois fois plus long s'allonge de plusieurs toises avant qu'il y ait rien à craindre de sa part: il fait cependant de la résistance en s'allongeant, sa force élastique est mise en action, & la secousse du Navire est souvent détruite, & son effort consommé peu

Fig. 33. à peu, avant que le cable soit parvenu à son dernier terme d'extension. Ainsi le cable, principalement lorsqu'il est très-long, est comme une espece de ressort dont une partie de la force consiste à ceder avec facilité & à se remettre dans son premier état, aussi-tôt que rien ne s'y oppose.

Enfin on peut éviter la perte du Vaisseau par un dernier endroit, lorsqu'on met plusieurs cables à l'extrémité les uns des autres. Non-seulement l'ancre est moins sujette à *chasser*, non-seulement le cable est moins sujet à se rompre; mais il y a encore moins à craindre pour le Vaisseau même, lorsque les premiers accidens n'arrivent pas, & que cependant la Mer est extremement agitée. Plus l'eau pousse le Navire dans le sens horisontal selon PQ ou OL, plus le cable est obligé de résister dans le sens de sa direction. Mais la résistance qu'il fait, se décomposant, le Navire se trouve tiré en bas en même tems par la force relative verticale OP ou LQ; & cette force est quelquefois assez grande, pour faire plonger entierement la prouë. Cette force verticale qui est si redoutable & que divers Marins n'ont que trop experimentée sans la connoître, doit augmenter ou diminuer, selon que les vagues frapent le Navire avec plus ou moins de force; c'est-à-dire, que plus la prouë est frapée par les vagues plus elle se plonge. Il est clair aussi que ces deux forces sont égales, la verticale PO & l'horisontale PQ, lorsque le cable fait avec l'horison, en entrant dans le Vaisseau, un angle de 45 dégrés: Si le cable au contraire est beaucoup plus long & plus couché, la force verticale qui dépend de l'autre, se trouvera beaucoup plus petite, elle sera peut être trois ou quatre fois moins grande; & alors il y aura beaucoup moins à craindre.

Il ne reste plus qu'à dire un mot de la maniere dont le cable est arrêté dans le Navire. On pourroit penser qu'il l'est principalement par un nœud fait avec beaucoup de soin. Il est vrai que son extrémité est *amarée* en bas, crainte de tout évenement, dans l'endroit même du fond de cale où on le serre; il est vrai encore qu'il est saisi par diverses

Digitized by Google

cordes d'une mediocre grosseur qu'on nomme *bosses* & qu'on *fouëte* dessus, ou dont on l'entoure de distance en distance : mais il est principalement retenu par *les bittes* qui sont deux pieces de bois verticales traversées par une troisiéme placée horisontalement ; & il est arrêté par son frotement contre ces pieces de bois, sur lesquelles il fait quelques tours en les entrelassant. Tel est l'effet de la roideur du cable qui ne se plie qu'avec une extrême difficulté, à cause de sa grosseur, & qui ne pourroit glisser qu'en se pliant davantage. On juge assez que *les bittes* doivent être arrêtées fortement ; & c'est pour cela qu'on les fait descendre jusqu'au fond du Vaisseau.

CHAPITRE IV.

De la maniere dont les Rames agissent.

QUELQUE simple que soit l'action des Rames, il n'est pas aisé de l'expliquer ; je ne sache pas que depuis qu'Aristote s'y est trompé dans ses Problêmes, on ait donné jusques à present une explication entierement exacte de la Mécanique de cet instrument. Le Lecteur ne se convaincra aussi que trop que cette matiere contient des questions extrémement embarrassantes, que personne n'a examinées jusques à present, & qu'on ne peut les accommoder à notre portée qu'en éludant une partie de leurs difficultés; tant il est vrai qu'il ne faut pas toujours juger des choses à la premiere vûe. On ne s'est point servi de rames dans les plus grands Navires ; on ne les a employées que dans les plus petits ; mais comme elles sont tellement propres à la Navigation, qu'on ne les trouve nulle autre part, nous ne croyons pas devoir les obmettre dans l'énumération, quoique succinte, que nous entreprenons de faire des Apparaux. On peut se dispenser d'en faire la description, puisque tout le monde en connoît la figure ; ainsi on

commencera par examiner à quelle espece de levier on doit les rapporter.

I.

C'est le Rameur qui fournit la force motrice ; l'endroit de la rame qui porte sur le bord du Navire, est immobile, & la pale en frapant l'eau, trouve une résistance que le Rameur ne sent que trop. Ainsi il paroît que dans la premiere action, ou que pour comparer l'effort du Rameur avec la résistance que trouve la pale, en choquant l'eau, il faut considerer la rame comme un levier de la premiere espece, ou comme un levier dont l'hypomoclion ou le point d'appui, est entre la puissance & le fardeau. La pale doit avancer contre l'eau, en la frapant avec plus de vitesse, jusqu'à ce qu'il se trouve équilibre, entre la résistance qu'elle éprouve & l'effort du Rameur. Si les deux parties de la rame sont de même longueur, la partie qui est en dedans de la Galère & celle qui est en dehors; la résistance ou l'impulsion de l'eau sera égale à l'effort du Rameur : Si la partie extérieure est deux fois plus grande, comme elle l'est souvent, il faudra en recompense que le Rameur fasse deux fois plus d'effort. Sachant par conséquent la longueur des deux parties de la rame, & l'effort que fait le Rameur, il est toujours facile de découvrir avec quelle force la pale rencontre l'eau.

Si le Rameur avoit un point fixe en l'air, s'il étoit possible qu'il se soutint au-dessus de la Galère sans y toucher, nous convenons bien qu'il faudroit alors considerer son action comme appliquée à un levier de la seconde espece ; ainsi que l'ont voulu le P. Fournier & plusieurs autres personnes. La résistance de l'eau contre la pale fourniroit le point d'apui, pendant que le fardeau seroit représenté par le bord du Navire qu'il s'agiroit de faire avancer ; de sorte que l'action du Rameur se trouveroit avoir d'autant plus d'énergie ou de moment que toute la rame seroit plus longue par rapport à sa partie extérieure. C'est ce qui arriveroit, nous le repetons, si le Rameur avoit une position stable

ſtable en l'air : au lieu que l'explication n'eſt plus admiſſible auſſi-tôt que le Rameur eſt ſoutenu par la Galère & y tient ; on peut s'en convaincre aiſément en l'obligeant d'exercer toutes ſes forces ſur l'endroit même de la rame qui porte ſur le bord ou ſur *l'apoſtis*. Car bien loin que ſon action ait ſon effet entier comme dans le levier de la ſeconde eſpece, lorſque la puiſſance & le fardeau ſont à la même diſtance du point d'apui, elle n'en aura abſolument aucun, ou pour faire avancer le Navire ou pour faire remuer la rame. Démonſtration inconteſtable que le point d'apui ou l'hypomoclion, au lieu d'être à l'extrémité de la rame, eſt dans le point où elle porte ſur le flanc de la Galère, & que le levier eſt de la premiere eſpece.

Mais on ne fait agir la rame que pour faire avancer le Navire. Comment ce ſecond effet ſe produit-il ? il n'y a plus maintenant de levier à conſiderer. Le Rameur étant tourné vers la poupe, tire à lui le bout de la rame, en ſe renverſant & en ſe jettant vers la prouë ; & la pale avance en même tems vers l'arriere, en choquant l'eau avec force. Nous en ſommes reſtés à ce choc, qui eſt préciſement le même que ſi la pale étant immobile, l'eau venoit la rencontrer du côté de la poupe. Or toutes les impulſions que reçoivent en même tems les rames agiſſent dans le même ſens ; toutes les pales ſont pouſſées en même tems vers l'avant, & l'impulſion ſe communiquant à la Galère, elle doit avancer & accelerer ſa viteſſe, tant qu'elle eſt plus pouſſée par cette action de l'eau contre les rames, qu'elle n'eſt retardée par le choc de l'eau contre ſa prouë. Quand le mouvement eſt une fois uniforme, il y a équilibre ou égalité entre ces deux forces ; c'eſt-à-dire, que la réſiſtance de l'eau contre la prouë, ne retranche ni de plus grands ni de moindres degrés de la viteſſe du ſillage, que ceux que tend à y ajouter le choc de l'eau contre les rames qui ſe fait en ſens contraire. Il ſuit de tout cela qu'on peut diviſer toute la Mécanique de la rame en deux actions. La rame eſt un levier de la premiere eſpece, tant qu'il s'agit de comparer l'effort du Rameur avec la force

de l'impulsion de l'eau sur la pale, & c'est ce qu'avoit vû Aristote. Mais cette impulsion s'exerce ensuite toute entiere à faire avancer la Galère sans l'intervention d'aucune machine qui l'altere : c'est précisement la même chose que si l'eau venoit de vers la poupe, choquer les rames en les poussant de l'avant ; & il est évident que cette impulsion doit avoir son effet.

Fig. 34. Dans la figure 34 le bord du Navire est représenté par AB. Le Rameur en tirant de F en *f* le bout de la rame FE, fait que la pale DE, en prenant la situation D*e*, est choquée par l'eau, comme si l'eau venoit la fraper selon la direction CG ; & il y a équilibre de part & d'autre de *l'apostis* D, entre l'effort du Rameur & l'impulsion que reçoit la pale. Cependant il faut remarquer qu'il y a une partie de la force du Rameur perdue, & qui n'entre pas dans cet équilibre dont nous parlons. C'est la force qui est occupée à mouvoir la rame méme. Ce retranchement étant fait, il n'y a qu'à multiplier l'effort du Rameur par la distance au point d'apui D, & on aura son moment qui sera parfaitement égal à celui de l'impulsion de l'eau sur la pale, ou au produit de cette impulsion par la distance du centre dans lequel elle se réunit à l'hypomoclion. D'un autre côté cette impulsion que souffre la rame est égale à la résistance de l'eau contre la prouë ; mais il faut faire réflexion que la rame n'agit que par reprise, au lieu que la résistance que fait l'eau contre la prouë est continuelle. Le mouvement uniforme d'une Galère, est donc un mouvement qui s'accelere à chaque coup de rame, & qui se ralentit dans l'intervale suivant. Mais comme la somme des petites accelerations est égale à celle des petits retardemens, il se trouve toujours un parfait retour ou une parfaite égalité dans chaque acceleration successive, de même que dans chaque retardement.

L'action des Rameurs dans les Galères, peut se diviser à peu près en trois tems égaux, & il n'y en a qu'un qui est employé à fraper l'eau avec la pale. C'est-à-dire, que l'intervale entre les *palades* ou les coups de rames, est à peu près dou-

Digitized by Google

ble de la durée de chaque *palade*. Or comme l'impulsion de l'eau sur les pales doit être égale à la somme de toutes les résistances de l'eau contre la prouë, ou comme il faut que l'impulsion de l'eau sur les pales pendant une seconde, par exemple, réstitue à la vitesse de la Galère tout ce que lui a fait perdre la resistance de l'eau contre la prouë pendant trois secondes, il s'ensuit qu'il n'y a pas d'équilibre entre les deux forces dans chaque instant; mais seulement lorsqu'on les considere chacune pendant la durée entiere de leur exercice. Il n'est pas difficile de s'assurer que l'action simultanée de tous les Rameurs est avantageuse; & qu'on perdroit quelque-chose s'ils agissoient les uns après les autres, afin de pousser la Galère sans aucune interruption. Cependant on peut toujours supposer, à ce que je crois, pour rendre l'examen de ces choses plus facile, que l'action est distribuée également dans toutes les parties du tems, afin d'avoir un équilibre actuel & continuel entre l'impulsion de l'eau sur les pales & la résistance de l'eau contre la prouë. De trois secondes il n'y en a effectivement qu'une d'employée utilement à procurer la vitesse du sillage; mais toute la Chiourme agit à la fois: au lieu de cela il n'y a qu'à feindre qu'elle est divisée en trois classes, & qu'il y en a toujours une qui agit dans chaque seconde, sans laisser aucune partie de tems oisive. Fig. 34.

On peut par la force avec laquelle travaille le Rameur, juger de la grandeur de l'impulsion que reçoit la pale, comme nous l'avons déja dit: mais on peut aussi déterminer la grandeur de cette impulsion d'une maniere immédiate, parce qu'on sçait de quelle action est capable l'eau lorsqu'elle frape ou qu'elle est frapée avec une vitesse connue. Il faut seulement faire attention que cette vitesse n'est pas celle que le Rameur réussit à donner à la partie extérieure DG, & qu'il faut en retrancher la vitesse du sillage. Car pendant que la rame passe de la situation FE à la situation *fe*, la Galère avance peut être de la quantité D*d*; la rame au lieu de se trouver dans la situation *fe*, se trouve en $\varphi\epsilon$, & au lieu de choquer l'eau avec la vitesse G*g*, ne le fait qu'a-

Fig. 34. vec la partiale Gγ. Il se presente ensuite une remarque extrémement importante : c'est que cette vitesse partiale Gγ est toujours une partie déterminée de Gg ou de la vitesse totale du centre G, de celle qui repond à la vitesse Ff du Rameur ; & que le rapport de l'une à l'autre dépend de celui qu'il y a entre la surface de la proue & l'étendue de toutes les pales. Si la Galère va deux ou trois fois plus vite, sa proue étant frapée par l'eau avec une vitesse deux ou trois fois plus grande & qui sera toujours représentée par Dd ou $g\gamma$ recevra beaucoup plus d'impulsion, on trouvera beaucoup plus de résistance : mais puisque cette résistance doit être égale au choc de l'eau contre les rames, il faudra que la vitesse Gγ avec laquelle se fait ce choc, soit aussi deux ou trois fois plus grande. Ainsi c'est un Théoreme ou un Lemme auquel on peut avoir recours & qui doit être souvent d'usage ; que *quelque soit la vitesse* Gg *que le Rameur imprime au centre d'effort* G *de la pale, la vitesse* γg *que reçoit la Galère, & la vitesse restante* Gγ *avec laquelle la rame frape l'eau, ont toujours entr'elles le même rapport.*

II.

On est en état de distinguer maintenant les attentions qu'on peut avoir, de celles qu'on peut négliger dans la résolution de plusieurs Problêmes qui se présentent sur ce sujet, & qui n'ont point été assez examinés, quoiqu'ils soient aussi curieux qu'utiles. Une rame étant donnée, on demande s'il faut l'appuyer par son point de milieu D, comme l'ont cru quelques personnes, pour que le Rameur produise le plus grand effet possible ? On a de fortes raisons d'en douter ; car si on rend la partie extérieure DG plus longue, & supposé que le Rameur ne travaille toujours qu'à lui faire parcourir le même espace Gg qu'auparavant, il ne sera point obligé d'en parcourir de son côté un si grand Ff: & ne se donnant pas de si grands mouvemens, il aura plus le tems d'insister, & d'exercer toute sa force, dont il faut effectivement qu'il déploye, pour ainsi dire, une plus grande partie dans chaque partie de l'espace, mais il en aura la facilité en agissant plus lentement. C'est ce

Digitized by Google

qui est aussi en quelque façon justifié par l'expérience ; puisque pendant que la partie intérieure de la rame est de 12 pieds de longueur, on fait ordinairement la partie extérieure de 24 dans les Galères. Après tout il faut avouer que nous ne pouvons pas résoudre la question d'une maniere utile pour la pratique, à cause de la trop grande généralité dans laquelle nous serions obligés de la laisser. Nous nous trouvons principalement arrêtés;parce que nous ne sçavons pas la relation qu'il y a entre les diverses vitesses avec lesquelles le Rameur peut travailler, & la force qu'il peut employer. Il seroit de la derniere importance dans plusieurs autres rencontres de connoître ce rapport, de connoître combien la force des hommes diminue, lorsqu'ils sont obligés d'agir avec plus de promptitude ; & c'est ce que l'Anatomie, quoi qu'extrêmement aidée de la Géométrie dans ces derniers tems, ne nous a point encore apris. On peut exprimer cette relation par les co-ordonnées d'une ligne courbe dont quelques uns des symptomes se presentent aisément ; mais cela n'empêche pas qu'elle ne soit également inconnue. Fig. 34.

III.

Un autre Problême plus facile & qui a aussi un rapport plus immediat à nos besoins, c'est lorsque la force du Rameur & la vitesse avec laquelle il peut agir, sont *données* & qu'on demande les dimensions les plus avantageuses de la partie extérieure de la rame. La longueur de la partie intérieure doit être reglée sur la largeur du bâtiment & sur le plus grand espace que le Rameur peut parcourir en se renversant après s'être panché en avant. Mais ce n'est plus le même cas que lorsque les dimensions de la rame étoient données; car il est certain qu'il y a ici à gagner tant qu'on peut racourcir la partie extérieure. La pale étant plus voisine du point d'appui, il faut qu'elle soit plus grande, & que son choc contre l'eau le soit aussi, pour faire équilibre avec l'effort du Rameur qui est toujours le même ; or aussitôt que la pale choque l'eau avec une force totale ou abso-

lue plus grande, la Galère ne peut pas manquer d'aller
Fig. 35. plus vite. Supposé que Ff (Fig. 35.) soit le plus grand espace qu'on puisse faire parcourir à l'extrémité F, le centre d'effort G de la pale parcourra en même tems l'espace Gg : & il est clair que plus on racourcira DG, plus il faudra donner d'étendue à la pale ; autrement l'impulsion qu'elle recevroit en choquant l'eau avec moins de vitesse & qui seroit appliqué outre cela à un bras de levier moins long, ne seroit pas capable d'épuiser l'effort des Rameurs qui est constant. Si la partie extérieure DG est trois ou quatre fois plus courte, il faut augmenter la pale dans un assez grand rapport pour qu'elle reçoive trois ou quatre fois plus de choc absolu. Mais les rames étant ainsi poussées par l'eau avec une force trois ou quatre fois plus grande, la Galère doit nécessairement aller plus vite ; elle doit accelerer sa rapidité jusqu'à éprouver aussi trois ou quatre fois plus de résistance du côté de la prouë. On seroit invité par conséquent à racourcir sans cesse la partie extérieure de la rame, afin de pouvoir augmenter l'étendue de sa pale, sans qu'il y a un terme qui arrête. Si pendant l'action des Rameurs, la Galère passe de D en δ, en parcourant l'espace Dδ égal à Gg, la rame se trouvera dans la situation $\varphi\delta$G, lorsque le Rameur ne croyoit l'avoir mise que dans la situation fDg ; & le centre d'effort G n'ayant réellement aucune vitesse pour fraper l'eau, on ne pourroit supléer à ce défaut qu'en faisant la pale infiniment large. Alors la partie extérieure de la rame seroit donc parvenue au terme de sa moindre longueur & à la disposition la plus avantageuse, à laquelle il est vrai qu'on ne peut pas atteindre, puisqu'il n'est pas possible de donner à la pale une largeur infinie. Cependant comme il est toujours à propos d'avoir en vûe ce *minimum* de la longueur qui procureroit le *maximum* de la rapidité du sillage, nous allons tâcher de le déterminer.

Supposons que l'effort des Rameurs distribué dans toutes les parties du tems & appliqué immédiatement à la Galère sans le secours d'aucune machine, lui fasse parcourir

Digitized by Google

l'espace Dd; c'est-à-dire que les Rameurs étant à terre & tirant la Galère par une corde avec le même force qu'ils employent sur les rames, elle parcoure dans le tems déterminé cet espace Dd. L'effort des Rameurs doit être exprimé par le quarré de cet espace: car la résistance que trouve un corps à fendre un milieu, est quatre fois ou neuf fois plus grande, lorsqu'il se meut deux ou trois fois plus vite. Cette résistance est proportionnelle au quarré de la vitesse, comme on le montrera dans le troisiéme Livre; & la force destinée à vaincre cette résistance doit suivre le même rapport. On a donc $\overline{Dd}^2$ pour l'effort absolu ou actuel des Rameurs, appliqué à l'extrémité F du bras FD de levier; & pour sçavoir l'impulsion de l'eau en G contre la rame qui est capable de faire équilibre avec cet effort actuel, on n'a qu'à faire cette analogie, DG est à DF, comme $\overline{Dd}^2$ est à $\frac{DF \times \overline{Dd}^2}{DG}$ pour l'action absolue de l'eau contre la pale. Mais on souhaite que cette impulsion soit telle, qu'elle imprime à la Galère une vitesse Dδ qui soit égale à celle Gg du centre d'effort de la pale: car on veut que la Galère aille si vite, que la pale ne choque point l'eau & qu'elle ne fasse que s'appuyer contre; puisqu'on se propose de déterminer la moindre longueur de la partie extérieure DG. Or la rame en s'appuyant contre l'eau en G avec la force absolue $\frac{DF \times \overline{Dd}^2}{DG}$ doit donner à la Galère une vitesse exprimée par la racine quarrée $Dd\sqrt{\frac{DF}{DG}}$ de cette force; par la même raison que l'effort absolu $\overline{Dd}^2$ des Rameurs, apliqué immédiatement à la Galère, ne lui faisoit prendre que la vitesse Dd. Ainsi on a $Dd\sqrt{\frac{DF}{DG}} = D\delta$; & il ne resteroit donc plus qu'à connoître Dδ pour pouvoir obtenir le raport de DF à DG. Mais le triangle DGδ étant semblable au triangle FDf, on a cette analogie; DF est à Ff comme DG est à Dδ ou à $Dd\sqrt{\frac{DF}{DG}}$ & l'équation Dd Fig. 35.

Fig. 35. $\times DF \sqrt{\frac{DF}{DG}} = Ff \times DG$ qui élevée au quarré donne $\overline{Dd}^2 \times \frac{\overline{DF}^3}{DG} = \overline{Ff}^2 \times \overline{DG}^2$; & si on multiplie de part & d'autre par DG, & qu'on divise par $\overline{Ff}^2$, on aura $\overline{DG}^3 = \frac{\overline{Dd}^2 \times \overline{DF}^3}{\overline{Ff}^2}$, dont on tire $DG = DF \times \overline{\frac{Dd}{Ff}}\Big|^{\frac{2}{3}}$; & c'est ce qu'on vouloit découvrir.

Plus on aprochera du terme indiqué par cette formule en racourcissant la partie extérieure de la rame, plus il faudra élargir la pale ou augmenter sa surface comme nous l'avons vû il n'y a qu'un moment, & plus la Galère ira vite, quoique les Rameurs n'employent que la même force & n'agissent qu'avec la même vitesse. Ainsi c'est sur la plus grande étendue qu'on peut donner commodement à la pale, qu'on doit tout regler. Au surplus la formule $DG = DF \times \overline{\frac{Dd}{Ff}}\Big|^{\frac{2}{3}}$ nous fournit quelques remarques très-utiles que la pratique & le long usage n'ont pas, à ce que je crois, encore suggerées, & qu'on peut regarder comme le principal fruit des recherches précédentes. On voit 1°. Que les longueurs de la partie extérieure DG, doivent être proportionnelles, lorsque toutes les autres conditions sont les mêmes, aux longueurs de la partie intérieure DF. On voit 2°. Que plus la carène de la Galère est fine ou que lors qu'elle est mieux taillée & plus propre à recevoir une grande vitesse Dd, on doit rendre la partie extérieure de la rame plus longue; & qu'au contraire dans les Bâtimens pesans, dans ceux qui ne doivent jamais singler que lentement, on doit racourcir cette partie. C'est ce qu'on doit faire dans ces derniers Navires; parce que leur vitesse retranche une moindre portion de la vitesse avec laquelle la pale choque l'eau; ce qui donnant la liberté de racourcir la partie extérieure de la rame, met en état de profiter de l'avantage qu'on trouve toujours à augmenter l'étendue de

la

Digitized by Google

la pale. Enfin 3°. Plus les Rameurs sont robustes ou en état de donner de vitesse à l'extrémité F, plus il faut, & presque par la même raison, racourcir la partie extérieure DG.

Quoique ce sujet si simple en aparence devienne plus compliqué, à mesure qu'on le considere avec plus d'attention, nous ne voulons pas, puisque l'occasion ne s'en presenteroit plus dans la suite, nous dispenser de déterminer la longueur dont il est à propos de faire la partie extérieure de la rame, lorsque l'étendue de la pale sera *donnée* & rendue la plus grande qu'on pourra. La longueur que nous venons de découvrir est une limite ; mais nous devons toujours faire la partie DG effectivement plus longue. Je nomme a la vitesse que l'effort des Rameurs seroit capable d'imprimer à la Galère, s'il lui étoit immédiatement appliqué sans l'intervention d'aucune machine. Cette vitesse c'est celle qui étoit marquée par Dd dans la figure 35, & nous pouvons donc, comme ci-devant exprimer par a^2 l'effort absolu que font les Rameurs. Je nomme en même tems b la vitesse avec laquelle il faudroit que le centre G des rames, se mût pour que leur choc contre l'eau, fût égal au même effort absolu. Ainsi si a & b n'expriment pas dans la figure 34 la vitesse actuelle même Dd ou $g\gamma$ de la Galère & la vitesse respective Gγ avec laquelle la rame choque actuellement l'eau, elles expriment au moins leur rapport, conformément au Théoreme spécifié dans l'art. 1. Fig. 34.
Ces vitesses a & b dépendent de la surface de la proue & de l'étendue des rames, sans qu'elles suivent pour cela la raison réciproque de ces surfaces. Si, par exemple, la surface plane qu'on peut considerer à la place de la surface courbe de la prouë, parce qu'elle seroit sujette à la même impulsion de la part de l'eau, étoit quadruple de l'étendue totale que forment ensemble toutes les pales des rames, il ne seroit pas nécessaire que ces rames se meussent avec une vitesse b quadruple de celle a de la Galère, pour que les chocs absolus contre l'eau fussent égaux : il suffiroit

Digitized by Google

Fig. 34. qu'elles se meussent simplement deux fois plus vite ; & cela parce qu'une vitesse double suffit pour rendre l'impulsion 4 fois plus grande, & pour supléer par conséquent à la moindre étendue de la surface lorsqu'elle est quatre fois plus petite. Si la surface plane à laquelle se réduit la surface courbe de la proüe est neuf fois plus grande que celle de toutes les rames, il suffira par la même raison que les rames se meuvent trois fois plus vite. En général nommant P la surface plane équivalente à la surface convexe de la proüe en fait d'impulsion, & R l'étendue totale des pales des rames, les vitesses a & b seront comme $\frac{1}{\sqrt{P}}$ est à $\frac{1}{\sqrt{R}}$, ou comme $\sqrt{R}$ à $\sqrt{P}$.

Tout cela supposé, la ressemblance des triangles FDf & GDg dans la figure 34, nous donnera $Gg = \frac{Ff \times DG}{FD}$; & puisque les vitesses γg & $G\gamma$ sont comme a & b, nous pouvons faire (*componendo*) cette autre analogie ; $a+b \mid a \mid\mid Gg = \frac{Ff \times DG}{FD} \mid \gamma g = \frac{a}{a+b} \times \frac{Ff \times DG}{FD}$ pour la vitesse actuelle de la Galère. D'un autre côté nous avons vû que a^2 exprime l'effort des Rameurs, & il est évident que cet effort appliqué en F en doit produire un autre en G que nous trouverons par cette proportion ; $DG \mid DF \mid\mid a^2 \mid a^2 \times \frac{DF}{DG}$. Or c'est ce dernier effort qui se réunissant dans le centre G des pales, produit immédiatement la vitesse actuelle Dd de la Galère, en s'exerçant contre la résistance que trouve la proüe à fendre l'eau. Il faut par conséquent prendre la racine quarrée $a\sqrt{\frac{DF}{DG}}$ de cet effort ($a^2 \times \frac{DF}{DG}$) pour avoir toujours conformément à ce que nous avons dit, la vitesse que nous sçavons déja être égale à $\frac{a}{a+b} \times \frac{Ff \times DG}{FD}$. Ainsi nous avons $a\sqrt{\frac{DF}{DG}} = \frac{a}{a+b} \times \frac{Ff \times DG}{FD}$ dont nous déduisons $DG = \frac{\overline{a+b}^{\frac{2}{3}}}{\overline{Ff}^{\frac{2}{3}}} \times FD$, *formule* qui satisfait à la question & qui

Digitized by Google

ne peut pas manquer de convenir aussi au cas particulier Fig. 34.
que nous avions déja résolu. Plus l'étendue R des pales sera grande, ou ce qui revient au même, plus on multipliera le nombre des rames, plus la vitesse b sera petite & plus il faudra diminuer la longueur de la partie extérieure DG ; & enfin si b pouvoit devenir nulle, alors DG deviendroit égale à $\overline{\frac{a}{Ff}}|^{\frac{1}{3}} \times FD$, ainsi que nous l'avions trouvé.

Il ne nous reste plus qu'à faire remarquer qu'il suffit de suposer que le long usage a réussi à donner aux rames leurs vrayes longueurs dans les Galères ordinaires, pour que nous puissions découvrir le rapport des vitesses a & b avec Ff, sans être obligés de faire de nouvelles expériences ; ce qui nous permettra de régler ensuite par comparaison la longueur des rames dans toutes les autres circonstances. Nous avons dit que la vitesse a que recevroit le sillage si l'effort absolu des Rameurs étoit immédiatement appliqué au Navire, peut s'exprimer par $\sqrt{\frac{1}{P}}$. C'est ce qui est vrai, si on suppose que le nombre des Rameurs est toujours le même : mais si n marque le nombre des hommes dont la Chiourme est formée, nous aurons $\sqrt{\frac{\frac{1}{3}n}{P}}$ ou $\sqrt{\frac{n}{3P}}$ pour la vitesse a, parce que vû la résistance de l'eau qui change comme le quarré de la vitesse du sillage, le plus grand ou le moindre nombre des Rameurs ne doit imprimer à la Galère qu'une vitesse qui est comme la racine quarrée de ce nombre ou de la force motrice : & nous n'employons que le tiers de n, parce que comme nous l'avons reconnu dans le premier article, l'action des Rameurs est à peu près la même que s'ils agissoient sans interruption, mais qu'il n'y en eût que le tiers qui agit dans chaque instant. D'un autre côté la vitesse b qu'il faudroit que reçût le centre des pales des rames pour qu'elles souffrissent de la part de l'eau une aussi grande impulsion, doit être $\sqrt{\frac{n}{3R}}$, puisque cette vitesse b est à la vitesse a, comme $\sqrt{\frac{1}{R}}$ & à $\sqrt{\frac{1}{P}}$.

Digitized by Google

Fig. 34. Nous pouvons donc mettre $\sqrt{\frac{n}{3P}}$ & $\sqrt{\frac{n}{3R}}$ à la place de *a* & de *b* dans la formule $DG = \frac{\overline{a+b}^{\frac{2}{3}}}{\overline{Ff}^{\frac{2}{3}}} \times FD$: nous la changerons en $DG = \frac{\overline{\sqrt{\frac{n}{3P}} + \sqrt{\frac{n}{3R}}}^{\frac{2}{3}}}{\overline{Ff}^{\frac{2}{3}}} \times FD$; & il ne reste plus qu'à introduire dans cette derniere équation les valeurs de FD, de DG, de *n*, &c. telles que nous les fournissent les Galères ordinaires, pour pouvoir en déduire F*f*.

Il y a ordinairement 52 rames en tout sur chaque Galère, & on met 5 hommes sur chaque rame. Les pales ont à peu près 5 pieds de longueur sur $\frac{1}{2}$ de large; ce qui donne $2\frac{1}{2}$ pieds quarrés pour l'étendue de chacune & 130 pieds pour la surface des 52. Cela suposé, nous avons 260, le nombre d'hommes de la Chiourme, pour la valeur de *n*, & 130 pieds quarrés pour celle de R. Nous avons déja averti que FD est de 12 pieds, & on peut suposer que l'effort moyen des Rameurs est appliqué à 9 pieds de distance du point G: Ainsi FD doit être traité comme s'il étoit seulement de 9 pieds, pendant que DG est d'environ $21\frac{1}{2}$; ce qu'on trouve en retranchant de 24 pieds la demie longueur $2\frac{1}{2}$ pieds de la pale. A l'égard de la surface plane P à laquelle se réduit la prouë, elle est extrémement petite à cause de la grande saillie & du peu de profondeur de la carène, ce qui fait que la Galère glisse sur l'eau avec une extrême facilité. Je crois qu'elle ne reçoit pas plus d'impulsion qu'une surface plane de 9 ou 10 pieds quarrés; je prends ce dernier nombre pour la valeur de P. Or l'introduction de toutes ces grandeurs dans la formule, donne $1.\frac{01}{100}$ pour la valeur aprochée de $\overline{Ff}^{\frac{2}{3}}$. Ainsi suposant que les Rameurs font toujours un égal effort & agissent précisément avec la même vitesse, nous n'avons qu'à employer continuellement cette valeur 1.01 de $\overline{Ff}^{\frac{2}{3}}$ & nous

Digitized by Google

Fig. 34.

aurons $DG = \frac{\overline{\sqrt{\frac{n}{3P}} + \sqrt{\frac{n}{3R}}}^{\frac{2}{3}}}{1.01} \times FD$ pour la longueur qu'il faut donner à la partie extérieure de la rame par rapport à la partie intérieure dans tous les différens cas ; c'eſt-à-dire quel que ſoit le nombre n d'hommes dont la Chiourme eſt formée, quelle que ſoit la grandeur R de la ſurface totale que font enſemble les pales des rames, & quelle que ſoit auſſi la ſurface plane P à laquelle on peut ſupoſer que ſe réduit la prouë.

Mais nous pouvons rendre cette ſolution encore plus générale : car au lieu de ſupoſer que l'interruption de l'action des rames fait perdre les $\frac{2}{3}$ du tems comme dans les Galères ordinaires, nous pouvons ſupoſer qu'il n'y a que le $\frac{1}{4}$ ou la cinquiéme partie du tems, &c. qui ſoit employée utilement, & déſigner généralement cette fraction par $\frac{1}{f}$; ce qui changera la formule $DG = \frac{\overline{\sqrt{\frac{n}{3P}} + \sqrt{\frac{n}{3R}}}^{\frac{2}{3}}}{1.01} \times FD$ en cette autre $DG = \frac{\overline{\sqrt{\frac{n}{fP}} + \sqrt{\frac{n}{fR}}}^{\frac{2}{3}}}{1.01} \times FD$ qui eſt d'une aplication beaucoup plus étendue. Si l'on donne, par exemple, 120 Rameurs à un Navire de bas bord, & que diviſant le tems en 4 parties, il n'y en ait qu'une pour la durée des *palades :* ſupoſé de plus que toutes les rames forment enſemble une ſurface de 75 pieds quarrés, pendant que la ſurface de la prouë eſt équivalente quant à l'impulſion qu'elle reçoit, à un plan de 15 pieds quarrés, on aura DG $= \frac{\overline{\sqrt{\frac{120}{4 \times 15}} + \sqrt{\frac{120}{4 \times 75}}}^{\frac{2}{3}}}{1.01} \times FD = \frac{1.61}{1.01} \times FD$; de ſorte que ſi la partie FD eſt de 10 pieds, ou plutôt ſi l'effort des Rameurs eſt appliqué à 10 pieds de diſtance du point D, il faudra que le centre d'effort des pales ſoit environ 15 pieds 11$\frac{1}{3}$ pouces en dehors du Navire, ou que DG ſoit de cette quantité.

IV.

Jusques à present on n'a appliqué les rames avec succès qu'aux seuls Navires de bas bords, quoi qu'on ait senti combien il seroit important de pouvoir les appliquer aussi dans certains cas aux Vaisseaux proprement dits. La hauteur de ces derniers a rendu inutiles les différentes tentatives qu'on a faites de tems en tems pour tâcher de leur procurer ce secours. On a principalement insisté sur ce que les rames fussent tournantes comme les rames des moulins à eau: mais comme on n'a pas pû leur donner assez de vitesse, elles n'ont point eu d'effet ou n'en ont eu que très-peu. Il semble qu'on ne peut corriger ce défaut qu'en donnant à
Fig. 36. la rame la forme représentée dans la figure 36 ou quelqu'autre équivalente. La pale ABCD auroit ses côtés de 5 à 6 pieds ou même de 8 ou de 10; & comme elle entreroit verticalement dans l'eau, elle offriroit au choc une surface dont l'étendue seroit depuis 25 ou 30 pieds quarrés jusqu'à 100; & un petit nombre de pareilles rames si elles étoient mûes avec promptitude, seroit très-capable de vaincre la résistance de l'eau contre la prouë, qui à cause de sa convexité & de sa saillie, souffre beauconp moins d'impression qu'une surface plane de même hauteur & de même largeur.

Cette pale seroit formée d'especes de portes qui auroient la liberté de s'ouvrir en dehors d'environ 25 ou 30 degrés, comme des soupapes; mais qui ne pourroient pas passer en dedans, arrêtées qu'elles seroient par le chassi ABCD. Le levier de la rame seroit coudé & s'appuyeroit en F en quelquelqu'endroit du bord du Vaisseau; & comme on ne peut pas rendre son bras FG assez long & que cependant il est nécessaire de faire agir dessus 30 ou 40 Matelots, il n'y auroit qu'à mettre en travers *des barres* IH, LK, &c. à chacune desquelles on appliqueroit 8 ou 10 Rameurs; & de cette sorte la longueur qu'on donneroit à la partie intérieure FG ne seroit jamais assez grande, pour que l'espace parcouru par l'extrémité G, excedât la hauteur d'un

Digitized by Google

homme. Ces rames seroient situées à la poupe où on en pourroit mettre deux; & rien n'empêcheroit aussi d'en placer sur les flancs du Navire en les situant obliquement. Lorsqu'on éleveroit le levier FG, la pale s'aprocheroit de la carène, & ne fraperoit presque point l'eau; parce que les portes s'ouvriroient, & qu'on agiroit outre cela avec lenteur. Mais les Rameurs chargeant ensuite tout à coup le levier avec tout leur poids, les portes ou les soupapes se fermeroient, & la pale en s'éloignant, fraperoit l'eau avec une force qui ne manqueroit pas de faire avancer le Navire. Ce n'est, à ce que je crois, que par cette seule disposition qu'on peut procurer assez de vitesse à la rame ou lui donner cette espece de *saccade* qui est nécessaire, pour qu'elle produise quelque effet. Fig. 36.

J'avoue qu'il faudroit dans les Navires, dont le bord est fort élevé, que le bras extérieur de la rame fût fort long, pour que la pale plongeât suffisamment dans la Mer, tant qu'on prend le point F pour point d'apui. Il vaudroit peut être mieux faire sortir alors du Navire, par les fenêtres de sa poupe, quelques pieces de bois sur l'extrémité desquelles on apuyeroit le point O de chaque rame. Alors les Rameurs au lieu de peser sur les barres HI, KL, &c. les pousseroient horisontalement en avant en se jettant vers la prouë: & il faudroit dans ce cas que l'angle E fût sujet à s'ouvrir un peu, par le moyen d'une espece de charniere. Je n'insiste point sur l'assemblage de ces diverses parties, ni sur la maniere de faire en sorte qu'elles se montent & se démontent aisément: Tout cela regarde les ouvriers. Les personnes expérimentées dans la Marine voyent aussi assez que comme ces rames ne peuvent guéres servir à faire gouverner le Navire, il faudroit ordinairement que la Chaloupe mise à la Mer, précédât le Vaisseau & le dirigeât en le tirant vers le côté où il s'agit d'aller.

CHAPITRE V.

Des Proportions qu'on ſuit ordinairement dans la mâture des Vaiſſeaux.

NOUS pouvons maintenant nous élever à la conſidération de la mâture, & expliquer les dimenſions de ſes principales parties. Tous les Vaiſſeaux, les Frégates, les Flutes, &c. ont quatre mâts principaux. *Le grand mât* qui ſe met au milieu du Navire eſt le premier. Le mât de *mizaine* qui ſe met vers la prouë très-près de l'extrémité de la quille, eſt le ſecond, & il ne différe qu'aſſez peu du grand mât par ſa hauteur; le troiſiéme eſt le *beaupré*, qui au lieu d'être vertical comme les autres, eſt incliné en avant & ſort du Navire par la prouë, en s'apuyant ſur l'étrave, & le quatriéme eſt l'*artimon* qui manque quelquefois dans les plus petits Navires & qui ſe place vers la poupe. Son nom eſt encore tout Grec; mais je crois que les Anciens nommoient artimon le mât que nous nommons maintenant de *mizaine*.

Au-deſſus de ces mâts on en met d'autres qu'on nomme ordinairement mâts de hune; c'eſt au moins le nom de ceux qu'on met au-deſſus des deux premiers; c'eſt-à-dire du grand, & du mât de mizaine; l'un eſt *le grand mât de hune* ou le mât *du grand hunier*, & l'autre eſt *le petit mât de hune* ou le *mât du petit hunier*. Mais le mât d'artimon étant conſidérablement plus petit, on nomme toujours celui qu'on éleve au-deſſus, le mât de *perroquet de fougue*; pendant qu'on ne donne le nom de *perroquet* qu'aux plus petits mâts qu'on éleve encore au-deſſus du grand mât & du mât de mizaine, & qu'on place au-deſſus des huniers. Ainſi l'artimon n'eſt ordinairement formé que de deux mâts, ſçavoir de celui d'en bas, qui eſt le mât d'artimon proprement dit, & du mât de perroquet de fougue qui s'ente au-deſſus;

Digitized by Google

deſſus ; au lieu que le grand mât & le mât de mizaine ſont formés de trois parties ; le mât d'en bas auquel appartient privativement le nom de grand mât ou de mât de mizaine ; les mâts de grand & petit Hunier qui ſont au deſſus, & les mâts de grand & petit perroquet qui ſont encore plus haut. Dans les petits Navires qui n'ont point d'Artimon, le mât de mizaine ſe trouve au milieu des deux autres ; & c'eſt de cette ſituation dont il a pris ſon nom, que nous avons emprunté des Italiens.

Tous ces mâts ont leurs voiles particulieres, & nous en avons dit le nom d'avance ; s'il s'agit du grand mât, *la grande voile* eſt la plus baſſe ; *le grand Hunier* eſt au deſſus, & *le grand perroquet* encore plus haut. Dans le ſecond mât *la mizaine* eſt la plus baſſe, au deſſus eſt le *petit hunier*, & plus haut *le petit perroquet*. La voile d'Artimon ſe nomme ſouvent *voile latine*, & on nomme ainſi toutes les voiles qui, au lieu d'être quadrangulaires, ne ſont que triangulaires, aparemment parce que nous en avons pris l'uſage des Italiens, ou Lévantins. La voile du beaupré prend auſſi un nom particulier, on la nomme *civadiere*, & ce nom eſt Eſpagnol (*cevadera*)*. Toutes ces voiles ſont ſoutenuës par les *vergues* qui ſont de longues piéces de bois placées horiſontalement, & qui traverſent les mâts ; chaque vergue prend le nom de la voile qu'elle ſoutient.

* La civadiere étant fort avancée hors du Vaiſſeau, & deſcendant preſque juſqu'à la ſurface de la Mer, ſa figure la fait comparer au ſac qu'on attache quelquefois à la tête des chevaux, dans lequel on met l'orge (*cevada*) dont on les nourrit en Eſpagne.

On voit toutes ces choſes dans la figure 37. qui repréſente toutes les voiles lorſqu'elles ſont *déferlées* ou expoſées au vent. Les trois du grand mât ſont marquées par A, B, C ; la grande voile, le grand hunier & le grand perroquet. Le mât de mizaine a auſſi ſes trois voiles ; la mizaine proprement dite D ou *le bourcet*, ſon hunier E ou le petit hunier, & le petit perroquet F. La voile de beaupré eſt marquée par G, & c'eſt la civadiere. L'artimon n'eſt point *déferlé*, il eſt ſerré ; mais on voit au deſſus I le perroquet de fougue. Il y a encore quelques autres voiles que nous n'avons point repréſentées ici : comme ſont celles *d'étay* & *les focs*. On nomme *étay* tous les cordages qui partant de la tête des mâts, viennent ſe rendre au beaupré, & les

Fig 37.

empêchent de tomber en arriere. Ces cordages soutiennent des voiles triangulaires, dont la plus grande qui est suspenduë au grand étay KL, se nomme la *voile d'étay*, & les autres de la même espéce se nomment *focs*. On voit dans la même figure les mâts & les vergues qui appartiennent à chaque voile. Vers le haut de chaque mât inférieur il y a *la hune* ou *la gabie* comme parlent les Lévantins, qui est comme une petite galerie ou tribune ronde; & toute la partie du même mât qui est au dessus de la hune, se nomme le *tenon*, à cause de son usage; elle sert à maintenir l'autre mât qui est au dessus. Cette partie est surmontée par un billot de bois nommé *chouquet*, qui a une échancrure en demi-cercle, pour recevoir le mât supérieur.

Proportions des mâts inférieurs, & de leur application.

Le grand mât se met au milieu de la longueur totale du Vaisseau prise du haut de l'étambot au haut de l'étrave, ou si on ne le place pas éxactement dans ce point, on fait ensorte que toute sa grosseur soit en arriere du milieu. Presque tous les constructeurs s'accordent en cela; mais ce n'est pas absolument la même chose à l'égard des autres mâts: quelques-uns mettent celui de mizaine précisément à l'extrêmité de la quille, au lieu que quelques autres le reculent un peu, comme d'une quarantiéme ou cinquantiéme partie de toute la longueur du Vaisseau, pendant que d'autres au contraire le font un peu avancer sur l'étrave. Le mât de beaupré, on l'incline ordinairement assez, pour qu'il fasse un angle d'environ 35 degrez avec l'horison. Enfin on place l'artimon à environ les trois seiziémes de la longueur totale du Navire de distance du haut de l'étambot. Si le Vaisseau a 160 pieds de longueur totale, on met l'artimon à 30 pieds de distance de l'étambot.

On donne ordinairement en France, de longueur au grand mât deux fois & demie la largeur du Navire; au lieu que les Anglois rendent ce mât un peu moins long, en ne le faisant que de deux largeurs du Vaisseau & deux cinquiémes. Ainsi suposé que le Navire ait 40 pieds de largeur,

Digitized by Google

nos constructeurs donneroient au grand mât 100 pieds de hauteur ; mais les Anglois ne lui en donneroient que 96. Les Hollandois font encore cette hauteur un peu plus grande que nous, quoiqu'ils conviennent aussi avec toutes les autres Nations à la régler de même que la longueur de tous les autres mâts, sur la seule largeur du Vaisseau. Le tenon, ou cette partie qui est au dessus de la hune, a toujours de longueur la dixiéme partie de celle du mât.

Le diamétre du grand mât, au travers du premier pont, ou du pont inférieur, contient toujours autant de pouces que les trois quarts du maître bau contiennent de pieds; ou ce qui revient au même, ce diamétre est la quarantiéme partie de la longueur du mât. Dans la suposition que nous venons de faire, le grand mât doit avoir 30 pouces de diamétre; & à son extrêmité d'en haut il doit en avoir 20: car c'est une régle générale que tous les grands mâts & mâts de mizaine n'ayent par leurs extrêmités supérieures que les deux tiers de leur plus grande grosseur.

Je me fais violence, je l'avouë, pour raporter en détail toutes ces régles, qui ne sont nullement fondées en raison, & qui ne sont propres qu'à être refutées. Le mât de mizaine a sa hauteur égale, à deux fois & un quart la longueur du bau, & son diamétre, au travers du premier pont qui est l'endroit où il est le plus gros, de même que les autres mâts inférieurs, est environ la trente-neuviéme partie de sa longueur. D'autres constructeurs retranchent une dixiéme partie de la hauteur du grand mât, pour avoir celle du mât de mizaine.

Le mât de beaupré a de longueur une fois & demie le bau, & son diamétre vis-à-vis du haut de l'étrave, est la vingt-septiéme partie de sa longueur. Si la largeur du Navire est de 40 pieds, le beaupré aura donc 60 pieds de longueur, & $26\frac{2}{3}$ pouces de diamétre dans la plus grande grosseur. Par en haut, on ne lui donne de diamétre que la moitié.

Enfin le mât d'artimon a sa longueur égale à une fois le bau & trois quarts, pendant que son plus grand diamétre

eſt d'autant de pouces que les 7 ſeiziémes du bau contiennent de pieds; diſons mieux: ce mât a de plus grande groſſeur la quarante-huitiéme partie de ſa longueur, & il a par en haut la moitié de cette groſſeur.

Proportions des mâts ſupérieurs.

Il nous faut maintenant paſſer aux mâts ſupérieurs; le grand mât de hune qui ſe place au deſſus du grand mât, a ordinairement de longueur un bau & demi; de ſorte que ſa longueur eſt égale à celle du beaupré; mais il a moins de groſſeur: ſon plus grand diamétre n'eſt qu'environ la quarante-troiſiéme partie de ſa longueur.

Le mât de petit hunier qui ſe place au deſſus du mât de mizaine, a de longueur un bau & trois huitiémes; & ſon plus grand diamétre eſt environ la quarante-troiſiéme partie de ſa longueur.

Le mât de perroquet de fouge qui s'ente au deſſus de l'artimon, a la moitié de la longueur & de la groſſeur du grand mât de hune.

Le mât de grand perroquet a les cinq douziémes de la longueur du grand mât de hune au deſſus duquel on le met; & il a la moitié de ſa groſſeur: au lieu que le mât de petit perroquet a de longueur les quatre ſeptiémes du petit mât de hune, & la moitié de ſa groſſeur.

Le mât de perroquet de beaupré qui ſe place immédiatement & verticalement au deſſus du beaupré, a de longueur les deux cinquiémes du maître bau; & ſa groſſeur ſe fait ordinairement d'autant de pouces qu'il y a de pieds dans les ſept trente-ſixiémes du bau: c'eſt-à-dire qu'on la fait d'un peu moins que la vingt-cinquiéme partie de la longueur.

Proportions des Vergues.

Nous ne pouvons pas nous épargner le reſte du détail, puiſque nous l'avons commencé. La grande vergue qui ſoutient la grande voile, & qui eſt appliquée vers le haut du grand mât, a ordinairement de longueur deux fois

Digitized by Google

le bau & une ſixiéme partie. Sa plus grande groſſeur eſt au milieu; elle y a autant de pouces de diamétre que les deux tiers du bau contiennent de pieds, ou ce qui revient au même, elle a de diamétre la trente-neuviéme partie de ſa longueur. Les vergues ont une figure fort différente des mâts : elles ſe terminent preſque en pointes aux deux extrémités, où elles n'ont que le tiers de leur plus grande groſſeur.

La vergue du grand hunier a de longueur un bau & un quart, & a de groſſeur la moitié de celle de la grande vergue.

Encore plus haut eſt la troiſiéme vergue, pour ſoutenir la troiſiéme voile, celle de grand perroquet. Cette vergue a de longueur les trois quarts du bau, & de groſſeur la moitié de celle du grand hunier, ou le quart de celle de la grande vergue.

La vergue de mizaine a de longueur éxactement deux baux, & ſa plus grande groſſeur a autant de pouces de diamétre que les cinq huitiémes du bau contiennent de pieds.

La vergue du petit hunier qui eſt au deſſus de la mizaine, a de longueur un bau & un ſixiéme; & ſa groſſeur eſt le plus ſouvent les ſept quinziémes de celle de la vergue de mizaine.

La vergue de petit perroquet qui eſt plus haut, eſt longue des deux tiers du bau; & ſa groſſeur eſt la moitié de celle de la vergue du petit hunier.

La vergue de civadiere a ordinairement de longueur un bau & un quart, & ſa plus grande groſſeur qui eſt toujours au milieu, eſt d'autant de pouces que le tiers du bau contient de pieds; de ſorte qu'elle n'a de groſſeur que la moitié de celle de la grande vergue.

La vergue du perroquet de beaupré a de longueur les trois quarts du bau, & ſa groſſeur eſt les ſept ſeiziémes de celle de la vergue de civadiere.

La vergue d'artimon eſt inclinée à cauſe de la figure triangulaire de ſa voile, & elle eſt l'hypoteneuſe de ce

triangle qui eſt rectangle : ſa longueur eſt de deux baux. Sa plus grande groſſeur a autant de pouces de diamétre que le tiers du bau a de pieds. Le bout d'en bas a les deux tiers de cette groſſeur, & celui d'en haut le tiers.

La vergue du perroquet de fougue a de longueur les trois quarts du bau, & de groſſeur la moitié de celle de la vergue d'artimon.

Toutes les voiles ſont ſuſpenduës par leurs vergues, y étant fortement liées par des cordages qu'on nomme *rabans*, & leurs deux angles d'en bas au moins dans les voiles ſupérieures, s'appliquent vers les extrémités des vergues qui ſont au deſſous, & qui ſervent à ſoutenir les voiles inférieures. Cette diſpoſition ne peut pas avoir lieu à l'égard du perroquet de fougue, à cauſe de l'inclinaiſon de la voile d'artimon ; mais on met une autre vergue qu'on nomme *ſeche*, qui n'a d'autre uſage que de le retenir par en bas. Cette vergue que nous n'avons pas manqué de repréſenter dans la Fig. 37. a de longueur un bau & un quart, pendant que ſa groſſeur eſt la moitié de celle de la vergue d'artimon, ou eſt égale à celle de la vergue ſupérieure.

De la figure qu'on donne aux Mâts & aux Vergues.

Les Lecteurs ſçavent aſſez que les mâts, de même que les vergues ſont ronds, qu'ils ſont comme cylindriques ou coniques ; mais ils ne ſçavent peut-être pas tous que les côtés n'en ſont pas des lignes droites. Le plus ſouvent les Mâteurs donnent à ces côtés la courbure d'un arc d'Ellipſe. Voici la maniere dont ils tracent cet arc, en ſe conformant à leur méthode ordinaire des *réductions*.

Fig. 38. Ils forment le triangle équilateral ACB (Fig. 38.) dont les côtés ſont égaux au plus grand diamétre du mât, ou de la vergue qu'ils ſe propoſent de faire. Des points A & B comme centre, ils décrivent les deux arcs de cercle BC & AC, & ils portent enſuite en EF parallelement à AB, le plus petit diamétre du mât ou de la vergue. S'il s'agit d'un mât, EF eſt ordinairement les deux tiers de

Digitized by Google

AB, & n'en est que le tiers, s'il est question d'une vergue. Après cela ils partagent la hauteur DG, en autant de parties égales qu'ils se proposent de trouver le diamétre du mât en divers endroits de sa longueur; & ils tirent par les points de division des paralleles MN, OP, &c. aux deux premieres. Il ne leur reste plus ensuite qu'à diviser la longueur du mât en autant de parties égales qu'ils ont divisé DG, & transportant successivement toutes les largeurs EF, MN, &c. perpendiculairement à l'axe du mât vis-à-vis de ses points de divisions, ils ont les diamétres que doit avoir le mât en chaque endroit. Il est évident que les constructeurs donnent par cette opération aux côtés du mât la courbure d'un arc d'Ellipse. Mais ont-ils quelque raison de préferer cette courbure ? On peut assurer qu'ils se sont déterminés ici, comme on a vû qu'ils l'ont fait souvent ailleurs, par la plus grande facilité qu'ils ont trouvé à tracer certaines courbes. Nous dirons un mot dans la Section suivante de la vraye figure qu'il faudroit donner aux mâts & aux vergues.

CHAPITRE VI.

Remarques & Expériences sur les Régles précedentes, avec le moyen de rendre ces Régles moins imparfaites.

I.

IL est assez facile de juger que les dimensions des voiles sont réglées sur la hauteur des mâts, & sur la longueur des vergues dont nous venons de parler. Leur largeur par en haut, ou leur *envergure*, est un peu moins grande que la longueur de la vergue à laquelle elles sont suspenduës; leur largeur par en bas, ou leur *bordure*, est de même un peu moins grande que la longueur de la vergue inférieure, à laquelle leurs deux angles ou leurs *deux*

poiuts viennent ſe rendre, & leur hauteur qu'on nomme ordinairement *leur chute*, eſt à peu près égale à la hauteur de leur mât. Il n'y a que *la chute*, ou la hauteur des baſſes voiles qui en eſt fort différente, à cauſe de toute la partie de la hauteur des mâts que retranche le corps du Navire. Dans les Vaiſſeaux du premier rang qui ont 48 pieds de largeur, le grand mât a 120 pieds de hauteur, & on ne peut cependant donner au plus que 55 pieds de *chute* ou de hauteur à la grande voile.

Le grand mât ayant ſeul 120 pieds de hauteur, & étant encore ſurmonté du grand mât de hune qui a 72 pieds, & du mât de perroquet qui en a 30, on voit la grande élévation qu'a la mâture. C'eſt la même choſe à proportion dans les plus petits Navires; & ſi les Marins faiſoient attention à ce qui ſe paſſe de temps en temps ſous leurs yeux, ils ſe convaincroient aiſément qu'il n'y a que de l'avantage à diminuer cette hauteur prodigieuſe, en gagnant, s'ils le vouloient, ſur la largeur des voiles, ce qu'ils perdroient ſur l'autre dimenſion. Une voile très-petite, mais placée à une très-grande hauteur, fait plus d'effort pour faire incliner le Navire que pour le faire ſingler; parce qu'appliquée à un long bras de lévier, elle a un grand moment par raport au centre de gravité du Vaiſſeau: au lieu qu'une voile plus grande, mais appliquée moins haut, travaille moins à produire l'inclinaiſon; & cela n'empêche pas qu'elle ne faſſe tout ſon effet, par raport à la viteſſe du ſillage qu'elle accelere. C'eſt ce que j'ai tâché de prouver dans un Traité exprès, où j'ai entrepris de ſubſtituer aux régles tâtonneuſes & groſſieres, expoſées dans le Chapitre précédent, des maximes préciſes & éxactes, tirées de la Mécanique même des mouvemens des Vaiſſeaux, & de l'examen particulier de leur figure. Tout ce que les Marins peuvent dire pour défendre leurs régles, c'eſt qu'elles ſont authoriſées de l'expérience & du conſentement, pour ainſi dire, de toutes les Nations; mais on peut aſſurer malgré cela que l'expérience eſt plus contraire à ces mêmes régles, qu'elle ne leur eſt favorable. Il arrive tous les jours qu'un

Digitized by Google

qu'un Vaisseau étant démâté en Mer, on ne peut remplacer ses voiles que par d'autres beaucoup plus petites; & que cependant son sillage est aussi rapide que lorsque sa mâture avoit ces énormes dimensions, que le mauvais usage qui regne actuellement, lui fait donner. Lorsqu'on a voulu au contraire augmenter encore la mâture de quelques Navires, ils ont infailliblement perdu de leur marche. C'est ce qui arriva, par exemple, il y a quelques années, au Vaisseau du Roy *le Content*, sur lequel on voulut outrer un peu les régles ordinaires, ou peut-être seulement les observer plus dans la rigueur, & qui perdit aussi-tôt une partie de ses avantages *. Marques certaines que la mâture est hors des mesures, & qu'elle est déja beaucoup trop grande.

* Voyez ce qu'en dit le P. Laval. Voyage de la Loüisiane, page 279.

I I.

Mais les régles ordinaires ne péchent pas seulement parce qu'elles donnent trop d'élevation à la mâture, elles ont encore un vice intérieur & secret, parce qu'elles n'expriment pas même la loi que doivent suivre les dimensions de la voilure dans les differens Navires. Si un Vaisseau est deux fois moins long, deux fois moins large, &c. on donne constamment à sa voilure deux fois moins de hauteur, & deux fois moins de largeur; & cependant il est très-facile de reconnoître que le petit Navire, vû le systême ordinaire de la mâture, qui admet que les Vaisseaux s'inclinent, pourvû que l'inclinaison ne devienne pas excessive, doit en porter beaucoup moins à proportion que le grand. Le Navire, dont toutes les dimensions simples sont deux fois plus petites, à huit fois moins de solidité, ou pese huit fois moins; & comme c'est sa pesanteur qui s'oppose à l'effort que fait le vent pour le faire verser, ou au moins pour le faire incliner dans les routes obliques, il doit avoir huit fois moins de force absoluë pour soutenir la voile. Mais cette même force qui est huit fois plus petite, se réunit dans le centre de gravité, & est appliquée deux fois moins avantageusement, puisque toutes les dimensions

ſimples du Navire étant deux fois plus petites, ſon centre de gravité eſt auſſi deux fois moins bas, ou par raport au pont, ou par raport à la ſurface de l'eau. Ainſi la force relative avec laquelle la peſanteur du Navire s'oppoſe à l'effort du vent, eſt ſeize fois moins grande. Pour juger par conſéquent de la bonté ou du défaut des régles ordinaires, il n'y a qu'à voir ſi elles font diminuer auſſi ſeize fois la force relative qu'a le vent pour renverſer dans les routes obliques, un Navire deux fois plus petit. Si elles produiſent préciſément la même diminution, elles ne détruiront point l'équilibre ; ce ſera une marque qu'elles ſont parfaites, ou qu'il faut continuer à faire la mâture proportionnelle aux autres dimenſions des Vaiſſeaux. Mais lorſqu'on donne deux fois moins de hauteur, & deux fois moins de largeur aux voiles du Navire deux fois plus petit, l'étenduë de leur ſuperficie ne diminuë que quatre fois ; ce qui ne rend l'effort abſolu que quatre fois moindre. Il eſt vrai que le centre de cet effort ſera auſſi deux fois moins élevé au deſſus du Vaiſſeau, & appliqué par conſéquent à un bras de levier deux fois moins long : Mais tout conſidéré, la force relative qui tend à faire renverſer le Navire, ne ſera diminuée que huit fois ; pendant que la force contraire, la réſiſtance formée par la peſanteur du Vaiſſeau, ſera, comme nous l'avons vû, diminuée ſeize fois. Il eſt donc clair que la force du vent prévaudra, & qu'elle ſera deux fois trop grande : ainſi ſi la mâture du grand Vaiſſeau eſt bien diſpoſée, celle de l'autre ne le ſera pas ; le petit Navire ſera expoſé à verſer.

Pour le dire d'une maniere plus générale, mais en négligeant toujours quelques conſidérations auſquelles nous aurons égard dans la ſuite, la force relative avec laquelle le Vaiſſeau s'oppoſe à l'effort du vent, diminuë comme le quarré quarré de ſa quille ou de la longueur de ſon bau ; puiſque la peſanteur ou la force abſoluë diminuë comme le cube, & que cette force eſt appliquée à un bras de levier moins long. Mais tant qu'on s'aſſujettit aux régles vulgaires, l'effort relatif du vent ou le moment ne diminuë

Digitized by Google

que comme le cube de la quille, ou comme le cube de la largeur du Navire ; puisque la force absoluë du vent qui est proportionnelle à l'étenduë des voiles, ne diminuë que comme le quarré, & que la hauteur des mâts qui sert de bras de levier à cette force, ou qui est au moins proportionnelle à la longueur de ce levier, ne diminuë que comme la quille ou comme le bau. Ainsi dans les petits Navires, la force qu'ils ont pour soutenir la voile, diminuë toujours en plus grand raport, que l'effort relatif que fait le vent pour les renverser : s'il y avoit par conséquent équilibre entre ces deux forces dans les plus grands Vaisseaux, l'équilibre ne doit plus subsister dans les moindres; la premiere force se trouvant ensuite trop petite, & l'effort du vent trop grand. Il suit de-là que les régles ordinaires sont tout-à-fait défectueuses, & qu'elles doivent être au moins sujettes à l'un ou à l'autre de ces deux inconvéniens; ou d'être cause qu'on ne navige pas avec une entiere sureté dans les petits Navires ausquels elles donnent trop de mâture; ou qu'elles empêchent, en donnant au contraire une mâture trop peu étenduë aux grands Vaisseaux, de joüir de tout l'avantage que procureroit leur grandeur.

III.

Les régles vulgaires se trouvant défectueuses, nous ne pouvons pas, & il s'en faut même beaucoup, leur en substituer d'autres qui soient aussi simples : mais si cependant on a une fois un Navire, dont la mâture est bien disposée, on pourra s'en servir pour régler la mâture des autres qui seront semblables, ou à peu près semblables. Les forces relatives qu'ont les Navires pour soutenir la voile, sont comme les quarrés quarrés de leurs dimensions simples; & les forces relatives qu'a la mâture pour faire verser le Navire, sont comme les largeurs des voiles multipliées par le quarré de leur hauteur; puisque cette hauteur augmente l'étenduë des voiles, & fait en même tems que leur centre d'effort est plus élevé. D'un autre côté on ne peut gueres

se dispenser de régler les largeurs des voiles sur la largeur du Vaisseau : on peut faire ces largeurs plus grandes ou plus petites ; mais elles doivent toujours dépendre de l'autre. Ainsi pendant que la force relative du Navire pour soutenir la voile, est comme le quarré quarré de sa largeur, la force relative de la voile pour produire l'inclinaison, est comme le produit de cette même largeur par le quarré de la hauteur du mât. Mais s'il y a équilibre entre ces deux forces, il y aura égalité de raport entre les deux quantités qui les expriment, & cette égalité subsistera encore, si on divise les deux quantités également par la largeur. Or il suit de-là que pour que les Navires semblables ayent leur mâture également parfaite, il faut que les quarrés des hauteurs de leurs mâts, soient comme les cubes des largeurs de ces Navires, ou les cubes de leurs longueurs. Ce Théoreme peut servir de régle, & il sera toujours facile par son moyen, de déterminer la mâture d'un Navire, aussi-tôt qu'on en aura un autre, qu'on pourra prendre pour modéle.

Il semble qu'il n'y a point d'inconvénient à se régler toujours sur les Vaisseaux du troisiéme rang; parce que ce sont ceux qui, comme nous l'avons déja dit, se comportent le mieux à la Mer. Dans un Vaisseau du troisiéme rang, qui a 137 pieds de longueur, les voiles de son grand mât ont ordinairement ensemble 118 pieds de hauteur *. Si on veut maintenant trouver combien doit avoir de hauteur la voilure d'un Navire semblable, & qui n'a que 83 pieds de long, il n'y a qu'à faire cette simple analogie; le cube de 137 est au quarré de 118, comme le cube de 83 est au quarré de la hauteur des voiles du grand mât du second Navire. Ce quarré est 3096, & par conséquent la hauteur du mât requis est d'environ 55 $\frac{1}{3}$ pieds; au lieu que selon les proportions ordinaires, elle seroit d'environ 71 $\frac{1}{2}$ pieds. Quoique l'opération ne soit jamais fort longue, on peut cependant l'abreger considérablement par le moyen des logarithmes.

* On prend ici les hauteurs des voiles au dessus du pont, quoique cela ne soit pas parfaitement exact.

Mais si le second Navire n'est pas semblable au premier,

s'il est plus large ou plus étroit, en même tems qu'il est plus ou moins creux dans le même raport; il faudra faire à la mâture un second changement proportionel à celui de la largeur. C'est-à-dire que si le Navire qui a 83 pieds de longueur, au lieu d'avoir 23 pieds de largeur selon les régles ordinaires, n'en a que $15\frac{1}{3}$, ou les deux tiers de 23, il ne faudra donner de hauteur à sa mâture qu'environ $37\frac{1}{15}$ pieds, au lieu de $55\frac{3}{5}$. Il est facile de voir que la longueur du Navire étant la même, mais la largeur & le creux recevant un changement semblable, il faut en faire souffrir un proportionel à la hauteur des mâts. Car suposant toujours que la largeur des voiles soit réglée sur celle du Navire, & que la hauteur de la mâture soit aussi changée dans le même raport, l'étenduë de la voile, & par conséquent l'impulsion absoluë du vent, sera proportionelle au quarré de cette largeur, & la force relative sera proportionelle à son cube; en même tems que la force relative avec laquelle la pesanteur du Navire résistera à l'inclinaison, sera proportionelle à ce même cube, & non pas au quarré quarré; puisque la longueur du Vaisseau est censée ici ne pas varier. Or il suit de-là que les changemens faits à la voilure, répondront exactement à ceux qu'on aura fait à la grosseur du Navire, & que l'équilibre entre les deux forces qui doivent se contrebalancer, ne se trouvera point alteré. Si le bau est deux fois plus long, la voile sera deux fois plus large, & aura deux fois plus de hauteur; ainsi la surface sera quatre fois plus grande; & comme son centre d'effort sera aussi deux fois plus élevé, son moment sera huit fois plus grand. Mais si l'effort relatif du vent pour faire verser le Navire, est huit fois plus grand; d'un autre côté la pesanteur du Navire qui s'y oppose, aura huit fois plus de moment; & il n'y aura donc rien à craindre. Le Navire en effet aura le même nombre de coupes verticales faites perpendiculairement à sa longueur, & qui servent d'élement à sa solidité; mais chacune sera quatre fois plus grande; & la pesanteur quadruple du Navire étant située deux fois plus bas ou deux fois plus avantageuse-

ment, puiſque le Navire eſt deux fois plus creux, aura huit fois plus de force relative ou de moment; préciſément, comme il eſt néceſſaire pour entretenir toujours l'équilibre avec l'effort du vent. On voit aſſez qu'il ſuffit de joindre cette ſeconde régle avec la premiere; pour qu'on ſoit toujours en état, auſſi-tôt qu'on aura un Navire dont la mâture ſera parfaite, de déterminer la mâture de toutes les autres, & de ceux même qui ne ſont pas ſemblables, pourvû que les coupes verticales de la carène le ſoient. La premiere régle porte que *dans les Vaiſſeaux ſemblables, les quarrés de la hauteur de la mâture doivent être comme les cubes des dimenſions ſimples des Navires.* Selon la ſeconde régle, *les hauteurs des mâts doivent être proportionelles aux largeurs des Navires, dont les longueurs ſont les mêmes.* Ces deux régles étant admiſes, on peut ſe prévaloir de ce qu'il y a de meilleur dans les diſpoſitions ordinaires; on cherchera la hauteur de la mâture de chaque Navire, comme s'il étoit ſemblable à ceux du troiſiéme rang, tels qu'on les conſtruit aujourd'hui: & il n'y aura plus enſuite qu'à retrecir ou élargir les voiles, & diminuer ou augmenter la hauteur de la mâture déja trouvée, ſelon que le Navire ſera plus ou moins large.

On peut trouver encore quelqu'autres maximes qui tendront au même but que les précedentes; c'eſt-à-dire qu'elles ſerviront à diſpoſer la mâture d'un Navire auſſi-tôt qu'on en aura un autre bien mâté. En voici, par exemple, une troiſiéme. *Dans les Navires de même groſſeur, mais de différentes longueurs, les hauteurs de la mâture doivent être comme les racines quarrées des longueurs.* Car la force relative qu'ont ces Navires pour ſoutenir la voile, ou pour s'oppoſer à l'inclinaiſon, eſt proportionelle à leur longueur, puiſqu'elle ne change par aucun autre endroit. Le centre de gravité ne monte ni ne deſcend; c'eſt ſeulement la peſanteur totale qui eſt plus ou moins grande, ſelon la longueur; & le moment où la force relative doit donc ſuivre le même raport. Mais auſſi-tôt que la largeur du Vaiſ-

Digitized by Google

ſeau ne change pas, celle des voiles eſt auſſi toujours la même; & l'effort relatif qu'elles font pour faire incliner le Navire, ne dépend que de leur ſeule hauteur, mais en dépend deux fois; l'une, parce que cette hauteur fait croître la ſurface expoſée au vent; l'autre, parce que le centre d'effort ſe trouve plus élevé, ou le bras de levier plus long. Ainſi le moment où la force relative des voiles croît comme le quarré de leur hauteur; & il faut dans le cas de l'équilibre, que ce quarré ſoit proportionel à la longueur du Navire qui exprime l'autre moment: & par conſéquent les hauteurs même des mâts ou des voiles, doivent être comme les racines quarrées des longueurs des Navires. Supoſé qu'en laiſſant à un Vaiſſeau la même groſſeur, c'eſt-à-dire la même largeur & la même profondeur, on voulût le faire quatre fois ou neuf fois plus long, il faudroit, ſelon cela, faire ſeulement ſa mâture deux fois ou trois fois plus haute. Enfin ſi on réunit cette troiſiéme régle avec la ſeconde établie ci-deſſus (qu'il faut donner aux Navires de même longueur, mais de différentes groſſeurs, une mâture, dont la hauteur ſoit comme leur largeur,) on en concluëra ce quatriéme Théoreme; que *dans les Vaiſſeaux de differentes longueurs & de differentes groſſeurs, les hauteurs de la mâture doivent être en raiſon compoſée des largeurs des Navires, & des racines quarrées de leur longueur, ou qu'elles doivent être comme les produits des largeurs par les racines quarrées des longueurs.*

IV.

Toutes ces choſes deviendront ſans doute plus évidentes par les diverſes remarques que nous ferons dans la ſuite; principalement lorſque nous entreprendrons de parler de la Mâture d'une maniere plus exacte. Mais ceux des Lecteurs qui ne ſont point accoûtumés à ſuivre les raiſonnemens géométriques, peuvent par l'expérience, ſe convaincre aiſément de la vérité de la plûpart des choſes que nous avançons. Si la hauteur de la mâture doit être proportionelle dans tous les Navires, elle doit l'être auſſi

bien dans les plus petits que dans les plus grands; & si au contraire cette régle est défectueuse, le vrai moyen de manifester son défaut, & de le faire, pour ainsi dire, toucher au doigt, c'est de l'appliquer à un Vaisseau monstrueux par sa grandeur, ou à un Navire si petit, qu'il n'ait qu'un ou deux pieds de longueur. On peut de cette sorte mettre aisément la régle à une épreuve qui en doit être la vraye pierre de touche. Pendant que j'étois au Havre-de-Grace, & que toutes ces choses me rouloient dans l'esprit, je fis faire deux petits Navires parfaitement égaux, & sur la même forme, qu'une Frégate nommée *la Gazelle*, que le Roy faisoit alors construire, & qui étoit encore sur le chantier. Mes deux petits Navires avoient 15 ou 18 pouces de long; je ne me souviens pas bien de leur grandeur exacte; mais je sçai qu'on eut toutes les attentions possibles pour les rendre semblables à la Frégate, & qu'on en mâta un précisément de la même maniere qu'elle devoit l'être. Je me chargeai de la mâture de l'autre que je ne voulus pas rendre absolument parfaite; afin de ne changer la disposition ordinaire que le moins qu'il étoit possible. Enfin nous donnâmes précisément la même charge ou le même lest aux deux petits Navires: & nous les portâmes sur une piece d'eau assez étenduë, & où le vent qui étoit très-violent, se faisoit sentir avec beaucoup de force. A peine l'expérience fut-elle commencée, que le petit Navire entierement disposé comme la Gazelle, versa cent fois, ou *fit capot*, au grand étonnement des spectateurs, qui ne considéroient pas que si on avoit eu le soin de proportioner tout, de rendre toutes les parties du petit Navire 50 ou 60 fois plus petites que celle de la Frégate qui nous avoit servi de modéle, on n'avoit pas pû rendre le vent moins rapide ou moins fort; & qu'on exposoit donc ce petit Navire à une vraye tempête, à une tempête si furieuse, que les grands Vaisseaux n'en avoient jamais éprouvé de telles. Il faut convenir que les voiles du petit Navire étant 60 fois moins hautes & moins larges, l'impulsion qu'elles recevoient, étoit 3600 fois moindre que celles qu'eussent reçuës

Digitized by Google

reçuës du même vent les voiles de la Frégate, & leur moment pour faire verser ce petit Navire, étoit 216000 fois plus foible. Mais la force qu'avoit la pesanteur du petit Navire pour le faire relever, étoit diminuée encore 60 fois davantage : car sa pesanteur même étoit déja 216000 moindre, & appliquée qu'elle étoit à un bras de levier 60 fois moins long, elle devoit avoir 12960000 fois moins de force relative ou de moment. Après cela il n'étoit pas étonnant que le petit Navire qui avoit 60 fois moins de force à proportion que la Gazelle, pour soutenir la voile, ne résistât pas un seul instant à l'effort du vent, & qu'il n'y résistât pas même encore après qu'on eut serré une partie de ses voiles, & que beaucoup de personnes qui ne s'intéressoient peut-être que trop à sa conservation, eussent fait une infinité de divers changemens à sa mâture, pour sauver, s'il étoit possible, l'honneur des regles vulgaires.

Je ne ferai point difficulté d'avoüer que celui que j'avois pris soin de mâter, versa aussi plusieurs fois ; & cela, comme je l'ai déja dit, parce que je m'étois contenté de donner à sa mâture une disposition plus approchante de la parfaite, en ne retranchant simplement que les principaux défauts de la disposition ordinaire, & que le vent qui étoit très-impétueux, souffloit de tems en tems avec encore plus de violence. On dit souvent, lorsqu'il s'agit de machines, qu'elles ne réussissent pas toujours aussi-bien lorsqu'elles sont exécutées en grand, que lorsqu'elles sont exécutées en petit : au lieu que c'est tout le contraire dans l'Architecture Navale. Les expériences faites en petit, sont toujours très-peu favorables par les raisons que j'ai exposées. Mais l'autre petit Navire, après qu'on eût serré une partie de ses voiles, versoit encore 20 ou 30 fois contre le mien une, & s'obstinoit, pour ainsi dire, à montrer toujours que la mâture ne doit pas être proportionelle aux autres parties du Vaisseau. Je ne me permis outre cela aucun changement ; j'avois établis les mâts dans d'autres places ; j'avois donné aux voiles des dimensions différentes, & je n'avois été aidé à disposer toutes ces

choſes par aucune tentative précedente, ni par aucun tâtonement. Je voulu que mon petit Navire portât toujours les voiles hautes ; quoiqu'elles fuſſent beaucoup plus grandes que toutes celles de l'autre, & je me fis une loi de n'y toucher pour les orienter, que lorſqu'il fut queſtion de l'eſſayer dans quelqu'autre route. Il affronta la tempête dans cet état; & parvenu à l'extrémité de la piece d'eau qui avoit 30 ou 40 toiſes de largeur, & qu'il franchiſſoit avec une viteſſe ignorée des Marins, ſon mouvement le portoit toujours à terre, en le faiſant s'élancer & ſauter ſur le bord.

CHAPITRE VII.

Des principaux Cordages qui ſoutiennent la Mâture ; & qui ſervent à la manœuvre des voiles.

I.

IL ſeroit difficile de donner une explication complete de tous les cordages qui ſervent dans les Vaiſſeaux, à cauſe de l'imperfection des figures qu'il faudroit employer pour cela; ainſi c'eſt ici principalement où nous devons nous attacher à être court. Les *haubans* ſont ces eſpéces d'échelles de cordes qui ſont aux deux côtés de chaque mât ; ils ſervent à le ſoutenir, en même tems qu'ils ſervent aux Matelots à monter à la hune, par le moyen des *enflechures*, ou de ces cordes horiſontales qui ſont comme des échelons. Comme les haubans tirent le ſommet du mât d'un côté & d'autre fort obliquement, chacun ne travaille pas beaucoup à le ſoutenir ; & c'eſt pour cela qu'on eſt obligé d'en mettre pluſieurs, quelquefois dix de chaque côté, & de leur donner une groſſeur conſidérable. Cette groſſeur eſt ordinairement pour ceux du grand mât, égale au tiers de celle du maître cable. Les mâts ſupérieurs ont

Digitized by Google

auffi leurs haubans : ceux, par exemple, du grand mât de hune viennent fe rendre au bord de la circonference de la hune qui eft au haut du grand mât. Mais ces haubans qui s'éloignent fi peu du pied du mât qu'ils font deftinés à foutenir, ne font prefque aucun effort : les mâts fupérieurs font foutenus bien davantage par d'autres cordages qui defcendent de leur fommet jufqu'aux côtés même du Navire, & qu'on nomme *cale-haubans*.

Pendant que les mâts font foutenus à droit & à gauche par les *haubans* & les *cale-haubans*, & qu'ils ne peuvent pas tomber non plus vers la prouë ; parce que quelques-uns de ces cordages fe trouvent beaucoup en arriere du mât ; il y en a d'autres deftinés à les empêcher de tomber vers la poupe, & on les nomme *étays*, comme je crois l'avoir deja dit. Ces étays fervent principalement dans le tangage, ou lorfque le Navire fouffre ces balancemens très-vifs, aufquels il eft quelquefois expofé dans le fens de fa longueur. La prouë tombant avec force par la propre pefanteur du Vaiffeau, la mâture qui n'eft pas déterminée par fon poid à prendre le même mouvement, refteroit en arriere, ce qui la feroit infailliblement rompre vers le pied, fans que le haut de chaque mât étant comme lié à la prouë par le moyen des étays, eft obligé de fuivre le Navire, malgré fa chute précipitée. On nomme *grand étay* celui KL (Fig. 37.) qui partant du haut du grand mât, Fig. 37. vient fe rendre au beaupré proche de l'étrave ; & il a de groffeur ordinairement les deux tiers de celle du maître cable. Les autres mâts ont auffi leurs étays. L'explication que nous venons de faire de leur ufage, montre affez qu'ils font abfolument néceffaires.

Outre ces cordages qui foutiennent les mâts, il y en a d'autres qui foutiennent les vergues ; tels font *les itagues* & les *driffes*. La vergue qui peut gliffer le long du mât, fans avoir la liberté de s'en éloigner, à caufe d'une efpece de colier ou de chapelet nommé *racage*, qui étant attaché à la vergue, fait le tour du mât, eft fufpenduë par fa *driffe*, & ce cordage paffe dans une poulie qui eft foutenuë elle-

même par l'*itague*. On se sert de la drisse lorsqu'on veut *hisser* ou *caler* la vergue ; c'est-à-dire la faire monter ou descendre ; mais on ne touche à l'itague que lorsqu'on veut hausser ou baisser la poulie qui sert comme de point d'apuy. Les vergues sont encore soutenues par leurs deux extrémités par les *balancines*, qui servent en même tems à les élever, lorsqu'on le veut, par l'une ou l'autre extrémité. Ces balancines ne sont jamais simples : pour diminuer le travail des Matelots, il y a toujours plusieurs poulies ou plusieurs moufles qui multiplient la force, & la partie du cordage qui est *frapée* ou *amarée* à demeure, se nomme le *dormant*, & c'est la même chose dans plusieurs autres manœuvres. Nous avons représenté dans la Figure 37. les balancines de toutes les vergues : KM & KN sont celles de la grande vergue ; mais nous n'avons pas pû marquer la partie de ces cordages qui descendant le long du mât, vient tomber dans le Vaisseau. Les extrémités des balancines de toutes les autres vergues, ont aussi leur place assignée dans le Navire, & toujours la même : c'est la même chose de tous les autres cordages, afin que les Matelots sçachent de jour & de nuit où il faut les aller chercher.

La plûpart des autres manœuvres servent principalement à orienter les voiles. Les *bras* sont des cordages appliqués aux extrémités des vergues, & qui sont destinés à les mouvoir horisontalement. Ces cordages vont vers la poupe, & c'est pour cela qu'on dit qu'on *brasse* une vergue, lorsqu'on tire une de ses extrémités vers l'arriere. A chaque des deux angles d'en bas de la voile, ou à *ses points*, il y a d'autres cordages qui ne servent qu'à l'orienter. Il y a un de ces cordages par le moyen duquel on la tire de l'arriere, & c'est l'*écoute* QR ou OS ; & lorsque par le moyen de cette manœuvre on tire effectivement l'angle ou le *point* de la voile vers la poupe, on dit qu'on *la borde*. Un autre cordage appliqué aussi à chaque coin d'en bas, sert à la tirer en avant ; c'est ce qu'on nomme *amurer*, & le cordage QP qui sert à ce mouvement, se nomme *le coüet*,

Digitized by Google

Ainsi *border* la voile, c'est tirer un de ses angles vers l'arriere par le moyen de *l'écoute :* & *l'amurer*, c'est la tirer au contraire en avant par le moyen *du coüet*. Dans les routes obliques, la voile, au lieu d'être située perpendiculairement à la quille, est située obliquement; & il est clair qu'elle est alors *bordée* d'un côté, & *amurée* de l'autre. La grande voile (Fig. 37.) est amurée en P; elle est amurée du côté droit du Navire, ou du côté de *stribord*, pendant qu'elle est bordée de l'autre côté, du côté gauche, ou de *bas bord*. La droite & la gauche dans le Vaisseau se prennent toujours par raport au spectateur tourné vers l'avant ou vers la prouë. Fig. 37.

Lorsqu'on amure la grande voile, il y a un terme où l'on tâche souvent de parvenir. Le coüet passe dans le trou P, qu'on nommoit *dogue d'amure*, à cause sans doute, du musle dont on l'ornoit, & qu'on nomme à présent *porte-amure*; & on tâche d'en faire approcher le plus qu'on peut le coin de la voile. Pour déterminer la place du *porte-amure*, les constructeurs prennent ordinairement la longueur du maître bau, ou la largeur du Navire; & ils la portent horisontalement & obliquement sur le pont, depuis le grand mât jusqu'à la rencontre du bord ou du flanc du Vaisseau du côté de l'avant, & ils ont l'endroit requis P. Comme le Navire conserve à peu près la même largeur sur une longueur assez considérable, l'opération précédente, pour déterminer la place du *porte-amure*, fait que la voile amurée, autant qu'il est possible, forme un angle d'environ 30 degrez avec la quille, & ne peut pas en faire un moindre. Cette opération oblige encore à ne donner par en bas à la grande voile qu'une largeur environ double du Vaisseau: mais par en haut rien n'empêche de rendre la voile plus large, en allongeant la vergue. Je crois qu'il n'y auroit point d'inconvénient à rendre cette largeur égale à deux fois & demie celle du Vaisseau, comme je le dirai dans la suite.

Les voiles inférieures sont amurées & bordées sur le corps même du Navire; au lieu que les supérieures sont

Digitized by Google

Fig. 37. toujours bordées sur les vergues des voiles qui sont au-dessous. Le grand hunier, par exemple, est bordé sur la grande vergue MN. Cette disposition est cause que les voiles supérieures sont toujours mieux tenduës, & que non-seulement elles font plus d'effet, mais qu'elles ne rendent pas non plus le Navire sujet dans les routes obliques à une si grande *dérive* ou déviation : C'est-à-dire, qu'elles ne le font pas singler sur une ligne si differente de la direction de la quille. Les voiles basses sont au contraire extrémement courbées, & pendant qu'une partie de leur surface pousse dans le sens de la route, une autre pousse de côté, & quelquefois une troisiéme pousse de l'arriere, & nuit par conséquent à l'effet qu'on se propose. C'est ce qu'on doit tâcher d'éviter avec soin ; & c'est pourquoi il est avantageux, quand on le peut, de porter avec des *boutes-hors*, ou par quelques pieces de bois, les coins inférieurs des voiles basses considérablement au dehors du Navire, afin de les tendre plus parfaitement.

Les *boulines* servent aussi à procurer cette plus grande tension. Elles sont appliquées aux deux côtés de la voile, & on les tire vers l'avant, lorsqu'on veut empêcher la voile de se courber, & qu'on veut que le vent la frape mieux. Il seroit inutile de faire usage des boulines, lorsqu'on marche vent en poupe, ou lorsqu'on présente seulement un peu le côté au vent, ou qu'on va *vent largue*, pour parler comme les Marins. On ne s'en sert ordinairement que lorsqu'il s'agit *de pincer le vent*, ou de lui présenter la prouë; ce qu'on nomme *singler au plus près*, ou *aller à la bouline*.

D'autres manœuvres ne servent qu'à serrer les voiles, ou à les plier avec facilité. Telles sont celles qu'on nomme les *cargues*, qui n'ont d'autre usage que d'élever la voile vers la vergue; & comme les voiles sont souvent fort grandes & fort pesantes, chacune a plusieurs cargues. Il y en a deux, & ce sont celles *de fond*, pour élever le milieu du bas ou de *la bordure*. Deux autres, & ce sont les *cargues points*, sont appliquées aux coins inférieurs de la voile, &

Digitized by Google

enfin deux autres qui partent d'environ le milieu des deux côtés, se nomment *les cargues boulines*. Il suffit de peser dans le Vaisseau sur toutes ces manœuvres, pour élever dans un instant toutes les parties de la voile à la fois, & cette maniere de la plier, se nomme *la carguer*. Fig. 37.

On regarde ordinairement dans la Marine comme une chose très-difficile, de régler la longueur de toutes ces manœuvres, & d'une prodigieuse quantité d'autres que nous obmettons. On ne veut pas s'assujettir à monter au haut des mâts, & aller mesurer actuellement la longueur qu'il faut donner à chacune; & pour se dispenser de cette peine, il faut que les Marins se chargent la mémoire de je ne sçai combien de petites régles. La longueur des haubans, par exemple, doit être plus grande que la hauteur des mâts au-dessus du Navire, puisque ces haubans sont comme les hypothéneuses d'un triangle rectangle, dont la hauteur du mât est un des côtés, & la demi-largeur du Navire l'autre. Un Géométre, en faisant une figure en petit, pour représenter les contours & le chemin de chaque manœuvre, ne seroit jamais embarrassé dans ces sortes de déterminations; mais les Marins qui en sont chargés, ne sont ordinairement rien moins que Géométres. Nous ne pouvons pas entrer ici dans le détail de toutes ces choses: tout ce que nous pouvons faire de plus, c'est d'expliquer le moyen dont on se sert souvent pour trouver la longueur des manœuvres pour les Vaisseaux de toutes sortes de grandeurs; aussi-tôt qu'on a une figure qui marque ces longueurs, pour un Navire d'une grandeur déterminée, & qu'on supose que toutes ses parties sont proportionelles à celles des autres.

II.

Maniere de former une échelle pour trouver sur la même figure; la longueur des manœuvres pour tous les Vaisseaux.

On fait une figure à peu près semblable à la trente-septiéme, dans laquelle on marque la longueur exacte des mâts, des vergues & des principales manœuvres. La

perſpective ne doit rien alterer dans cette figure ; ainſi au lieu de repréſenter les vergues dans leur ſituation naturelle, on eſt obligé de les étendre dans le ſens même de la longueur du Navire, ce qui n'empêche pas de les accompagner des balancines, des bras, &c. Cette figure étant faite avec ſoin, il eſt évident qu'il n'eſt plus néceſſaire que d'avoir une échelle, pour pouvoir meſurer les dimenſions de chaque partie, ſoit en pieds, ſoit en braſſes. Toute la difficulté conſiſte à faire enſorte que cette échelle puiſſe ſervir pour tous les Vaiſſeaux. *L'échelle compoſée* qu'il faut pour cela, ſe trouve entre les mains de pluſieurs Marins, & l'uſage s'en eſt introduit depuis aſſez long-tems, pour qu'on n'en connoiſſe pas l'Auteur : preſque toutes celles qu'on a, ne ſont plus auſſi que des copies les unes des autres, qui ſont continuellement devenuës plus imparfaites ; & ſi la conſtruction en eſt ſouvent ignorée, la démonſtration l'eſt encore plus.

Supoſé que la droite AB (Fig. 39.) ſoit diviſée en parties égales, & puiſſe ſervir d'échelle, lorſqu'on veut meſurer toutes les parties du Navire de la Figure 37, que nous feindrons avoir 20 pieds de bau ou de largeur, il eſt évident que pour trouver ſur la même Figure 39, les dimenſions des parties ou des manœuvres d'un Navire qui a deux fois plus de bau ; il n'y a qu'à les meſurer ſur une échelle DE, dont les parties égales ſoient deux fois plus petites. Car une vergue, par exemple, meſurée ſur cette ſeconde échelle, ſe trouvera contenir deux fois plus de pieds de longueur ; & c'eſt ce qui doit arriver effectivement, ſi toutes les parties des Navires ſont proportionelles. Par la même raiſon ſi le Navire pour lequel on demande la longueur des manœuvres, a 30 pieds de bau, au lieu de 20, toutes les manœuvres ſeront plus grandes dans le même raport ; & pour trouver ces longueurs en braſſes ou en pieds, ſur la même Figure 37, il faudra donc les meſurer ſur une droite LN (Fig. 39.) diviſée en parties égales ; mais dont les parties ſoient plus petites que celles de AB, dans le raport de 20 à 30. *L'échelle compoſée* doit être

Fig. 37. & 39.

Digitized by Google

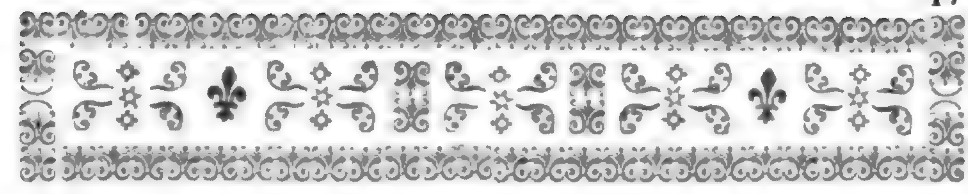
être ainsi comme formée d'une infinité d'échelles particulieres. On prendra toujours la grandeur des parties ou des manœuvres sur le Navire de la Figure 37, mais on les portera ensuite sur differentes lignes de l'échelle composée (Fig. 39.). Pour chaque differente grandeur de bau, il y aura une échelle differente ; & on sçaura toujours de laquelle on doit se servir, en jettant les yeux sur les nombres marqués le long de la ligne droite ADC.

Cette simple exposition nous fournit la maniere de construire aisément l'échelle dont il s'agit, laquelle peut avoir de grands usages en plusieurs autres rencontres, qui n'ont aucun raport à l'Architecture Navale. Toutes les parties correspondantes des differentes échelles, doivent être interceptées entre des lignes droites ou transversales qui concourent toutes dans un même point C, pris à volonté sur AC. J'éleve à AC une perpendiculaire CF, il n'importe de quelle longueur, & par son exrémité F, je tire une parallele FG à CA, & sa longueur FG est encore arbitraire. Enfin tirant par le point G une droite indéfinie GH parallele à FC, je la divise en parties égales d'une grandeur encore arbitraire, à commencer du point G; & il ne reste plus qu'à tirer du point F des droites FA, FL, FD, &c. par tous les points de division de GH, & elles viendront indiquer sur AC les points où on doit placer les échelles particulieres AB, LN, DE, &c.

Les parties GI, GK, &c. de GH, représentent les longueurs des baux, ou au moins leur sont proportionelles: c'est pourquoi je transporte sur AC les nombres qui sont marqués sur GH; & ces nombres indiquent les longueurs des baux, ou indiquent les échelles dont il faut se servir pour chaque Navire. Chaque triangle, comme FGK étant semblable à son correspondant LCF, on a cette proportion; FG est à GK, comme CL est à FC, laquelle nous apprend que les rectangles des lignes comme GK par CL, sont continuellement égaux à celui de FG par FC qui est constant. Ainsi les lignes GK & CL sont en raison réciproque l'une de l'autre; & par conséquent GK & LN sont

aussi en raison réciproque, puisque les lignes CL & LN sont continuellement en même raport. C'est-à-dire donc que toutes les longueurs des diverses échelles particulieres AB, LN, &c. sont en raison inverse des longueurs des baux qu'indiquent les parties de GH à commencer au point G, ou qu'indiquent les nombres marqués le long de AC. Si le bau d'un Navire est double de celui d'un autre, si l'un est de 40 pieds & l'autre de 20, l'espace GM sera double de GI; & par conséquent CA sera double de CD, de même que AB de DE, & ces deux dernieres lignes seront propres à former deux échelles, sur lesquelles les mêmes parties du Vaisseau se trouveront avoir deux valeurs differentes, double l'une de l'autre. *L'échelle composée* étant achevée, on peut effacer toutes les lignes qui n'ont servi qu'à sa construction. La droite AC se trouve ici divisée en progression harmonique, parce que les transversales sont des lignes droites: mais on pourroit diviser AC en parties égales, ou tirer toutes les paralleles à une égale distance les unes des autres; & alors les transversales deviendroient des arcs d'hyperboles.

Digitized by Google



TROIE'ME SECTION.

De la résistance ou de la force dont les parties du Vaisseau doivent être capables.

CE n'est que depuis que nous connoissons l'usage auquel sont destinées les diverses parties du Navire, que nous sommes en état de sçavoir la force qu'elles doivent avoir, & de régler la grosseur qu'on doit leur donner. Le fameux Galilée est le premier qui en traitant de la résistance des solides, a eu la gloire d'inventer une nouvelle science; mais depuis lui plusieurs Auteurs ont extrémement perfectionné ce sujet. Tels sont Messieurs Blondel, Marchetti, Mariote, Leibnitz, Varignon, Parent, &c. M. de Musschenbroek vient en dernier lieu de nous donner, sous le nom d'introduction à cette matiere, une Dissertation quon peut aussi regarder comme un Traité. Nous nous contenterons, sans nous trop étendre, & en éloignant le plus que nous pourrons, les difficultés d'une spéculation qui a été poussée fort loin, d'insister ici sur les choses de pratique, que les Constructeurs & les Marins sont principalement intéressés de sçavoir.

CHAPITRE PREMIER.

De la résistance absolue des matériaux qui entrent dans la Construction.

I.

NOUS n'avons que peu de choses à dire sur la force absoluë des bois; c'est-à-dire sur celle dont ils sont

capables lorsqu'ils travaillent dans le sens de leur longueur. On voit assez évidemment que dans les bois de même espéce, cette force doit être proportionelle à peu près à la grosseur absoluë de la piece, ou à l'étenduë de sa coupe perpendiculaire, puisque c'est de cette étenduë que dépend le nombre des fibres qui résistent. Ainsi on peut juger, en cas de besoin, de la force qu'a une grosse piece de bois, comme une poutre, par celle qu'ont des bâtons du même bois, sur lesquels il est facile de faire des essais. On peut regarder, par exemple, comme un principe d'expérience, qu'une régle de chêne qui est quarrée, & qui a un quart de pouce pour chaque côté de son épaisseur, ne se rompt, lorsqu'on la tire dans le sens de sa longueur, que lorsqu'elle est chargée d'environ 1000 livres. Il seroit peut-être à propos de répéter cette expérience; mais suposé qu'elle soit bien faite, une régle du même bois qui a de grosseur un pouce en quarré, doit soutenir 16 fois plus, & ne doit se rompre que par 16000 livres ou 8 tonneaux; & une poutre qui a un pied en quarré d'épaisseur, par 2304000 livres ou 1152 tonneaux.

Il s'en faut beaucoup que le bois de sapin qui entre aussi très-souvent dans la construction des Vaisseaux, ait autant de force; il n'a gueres que les $\frac{4}{5}$ de celle du chêne, lorsque l'un & l'autre sont tirés selon leur longueur. Mais ce raport peut varier selon la maniere dont le bois est nourri. Il y a une très-grande difference entre les pesanteurs spécifiques des divers bois de sapin dans le tems même qu'ils sont également secs; & je ne doute pas qu'il ne se trouve à peu près la même varieté sur leur force C'est ce que je ne faisois que soupçonner lorsque j'étois au Pérou, & que je travaillois à ce Traité : mais j'aprends à mon retour en France, que M. de Buffon a fait plusieurs épreuves sur le chêne, qui prouvent au moins que ce dernier bois est effectivement plus fort dans le même raport qu'il est plus pesant. Lorsqu'on fera des essais sur la résistance des bois, il est à propos de les faire sur des pieces prises à peu près au milieu du rayon de l'arbre. Si on prenoit un morceau

Digitized by Google

de bois vers le centre, on le trouveroit beaucoup plus fort; & si on le prenoit au contraire vers l'écorce, on le trouveroit plus foible. C'est ce qui est vrai à l'égard de tous les arbres, si l'on excepte les palmiers, & encore quelques autres especes de bois, dont on ne se sert gueres, & qu'il est facile de distinguer. Dans les ouvrages de charpente, on rejette toujours l'aubier, c'est-à-dire l'accroissement qu'a reçu l'arbre sur toute sa circonference, pendant le cours de la derniere année. Mais ce qui étoit aubier une année, devient bois parfait la suivante; & cependant il n'est pas encore d'une si forte consistance que le bois qui est plus voisin du centre. Cette différence est cause que généralement parlant, une poutre quarrée n'est pas si forte à proportion qu'une piece de bois ronde, prise au-dedans de la quarrée, parce que tous les angles de cette derniere sont formés de bois qui n'a pas encore acquis la compacité de l'autre. Selon toutes les apparences, c'est de la force même du bois qui est vers le centre de l'arbre, que naît la facilité qu'il a à se gâter. Les canaux, à force de recevoir de nouvelle matiere, se rétrécissent, & ne permettent plus également la circulation: le suc se corrompant par son séjour, l'arbre s'altere, & il commence toujours à le faire par le milieu. C'est aux Charpentiers à saisir l'arbre avant cet accident. L'arbre se perfectionne jusqu'à un certain terme, dans lequel il ne persiste pas toujours assez; & ensuite il déperit.

I I.

De tous les métaux celui qu'on employe pour la force le plus ordinairement, est le fer, parce qu'il est le plus commun. Il ne s'en faut gueres aussi qu'il ne résiste le plus de tous. L'or seul est plus fort d'environ une neuviéme partie, & on peut prendre pour principe d'expérience, lorsqu'il ne s'agit de comparer que des barres qui ont peu de grosseur, qu'un fil de fer d'une ligne de diamétre ne se rompt que lorsqu'il est chargé d'environ 650 livres. Ainsi une barre de fer cylindrique d'un demi-pouce de diamétre, ne

feroit expofée à fe rompre que lorfqu'elle eft chargée de 23400 livres ; ou d'environ 12 tonneaux. Le cuivre rouge n'a qu environ les $\frac{2}{3}$ de la force du fer : au lieu que le laiton réfifte davantage que le cuivre rouge ; il a environ les $\frac{4}{5}$ de la force du fer. Il eft à propos auffi de répéter les expériences, lorfqu'on veut employer ces métaux : car l'hétérogenéité à laquelle ils font fujets, peut apporter beaucoup de difference dans leur force, principalement dans celle du fer. La maniere de forger ce dernier métail, doit auffi y caufer du changement. On juge affez qu'on ne peut pas forger, quelque foin qu'on y mette, une barre de fer qui a plufieurs pouces de diamétre, comme la verge d'une ancre, avec le même fuccès qu'on forge une verge moins groffe. On ne réuffit pas également par le marteau à obliger les parties les plus intimes à s'aranger toutes dans le même fens & dans celui de la longueur. Lorfqu'il s'agit au contraire d'un fimple fil de fer, le paffage par la filiere le rend plus ferré, en même tems qu'il contribue à lui procurer cet arrangement de parties qui doit tant augmenter fa force. Il eft fâcheux qu'en raportant les régles que nous ont données differens Auteurs fur la réfiftance des corps folides, on ne puiffe jamais fe difpenfer d'avertir qu'il ne faut pas trop s'y fier, & qu'il feroit à propos de foumettre toute cette matiere à de nouvelles épreuves.

III.

Il eft encore une autre efpéce de force abfoluë des corps folides, qu'il feroit à propos d'examiner. C'eft celle qui empêche, par exemple, deux planches chevillées ou clouées enfemble, de gliffer l'une fur l'autre, lorfqu'on les pouffe de côté. Il n'intervient aucune efpéce de levier dans cette action, auffi-tôt que les chevilles & les cloux n'ont aucun jeu, & que les deux parties doivent fe détacher l'une de l'autre par la rupture, en confervant toujours un parfait parallelifme. Ce font toutes les fibres des chevilles ou des cloux qui réfiftent à l'effort latéral ; mais com-

me elles ſont obligées de ſe coucher les unes ſur les autres, je ne doute pas, quoique je ne l'aye pas expérimenté, qu'elles ne faſſent moins de réſiſtance, que lorſque l'effort ſe fait ſelon leur longueur.

CHAPITRE II.

Des divers moyens qu'on peut employer, pour empêcher les Vaiſſeaux de s'arquer.

TOUS ces eſſais ſerviront non-ſeulement à juger de la force de l'aſſemblage de toutes les parties du Navire, mais auſſi à donner à chaque piéce la groſſeur qu'elle doit avoir, pour rendre le Vaiſſeau durable, & pour l'empêcher de *s'arquer*. On a déja parlé de cet accident, dont les ſuites ne ſont que trop fâcheuſes: On propoſera maintenant quelques expédiens pour tâcher de le prévenir. Il eſt difficile que le Vaiſſeau s'arque en préſentant ſa concavité en bas, ſans que ſa largeur ne diminuë, & ſans que ſes ponts ne s'allongent en même tems. C'eſt ce qu'on voit évidemment lorſqu'on prend une taſſe en gondole, & qu'en la ſaiſiſſant par les deux extrémités, on tâche de la courber en deſſous: On la rétrecit en même tems qu'on l'allonge par en haut. La même choſe doit arriver aux Navires qui s'arquent: Ainſi pour les rendre plus ſolides, on doit ſe propoſer d'empêcher ces deux effets.

Si les baux au lieu d'être courbes, étoient parfaitement droits, il me paroît qu'ils auroient beaucoup plus de force pour empêcher le Navire de ſe retrecir. On aſſure qu'il eſt indiſpenſable que les ponts ayent de la pente des deux côtés; je m'en raporte: Mais on pourroit mettre au-deſſus des baux une ſeconde piéce qui donnât cette convexité ou cette *tonture* qu'on juge néceſſaire; & on ſe diſpenſeroit enſuite de donner cette extréme courbure au maître bau, qui eſt cauſe que preſque toutes les lignes droites

qu'on peut concevoir tirées d'une extrémité à l'autre, sortent de la piéce en dessous vers le milieu. Il n'y a pas de doute qu'une courbure si considérable, lorsque le poids de l'artillerie qui est au-dessus, ne tend point à la détruire & à redresser la piéce, n'ôte au bau la plus grande partie de la force qu'il auroit pour s'opposer au rétrecissement du Navire. Mais ce qui paroîtroit encore beaucoup plus important, c'est que les baux vinssent se terminer aux membres mêmes, & non pas aux bordages: c'est-à-dire qu'au lieu de les placer à côté des membres, on les mît en dedans en les faisant plus courts. Dans la premiere disposition les cloux & les chevilles peuvent ceder un peu, peuvent même avoir quelque jeu, ce qui doit permettre aux deux flancs de s'approcher; au lieu que si le bau étoit renfermé dans la couple même, les deux flancs seroient maintenus, malgré les plus grands efforts, à la même distance l'un de l'autre.

Lorsque le Navire s'arque, les ponts en second lieu se ralongent. Mais il semble aussi qu'on fait dans la Marine tout ce qui est nécessaire pour faciliter ce ralongement. Les ponts, au lieu d'être droits de la poupe à la prouë, sont considérablement courbes, ayant leurs deux extrémités plus hautes que le milieu. Ainsi sans se ralonger réellement, ils n'ont qu'à se redresser, ils deviendront comme plus longs, & ils permettront aux deux extrémités du Navire de tomber un peu. Qu'on fasse au contraire tous les ponts parfaitement droits, qu'on les forme de bordages de chêne suffisamment épais & bien endentés les uns avec les autres; alors ils seront par raport à l'assemblage de la quille, de l'étrave & de l'étambot, ce qu'est une corde roidie par raport à l'arc qu'elle bande: au lieu qu'en rendant les ponts courbes, comme on le fait mal-à-propos, c'est précisément la même chose que si on prétendoit qu'un arc ne se débandât pas, lorsque sa corde est lâche. Si l'on craignoit que les bordages des ponts, quoique forts & quoique parfaitement tendus, ne résistassent pas assez, il y a les illoires qui vont d'une extrêmité du Navire

Navire à l'autre, en paſſant par les deux côtés des écoutilles; on pourroit les rendre plus épaiſſes, & ménager encore moins le fer, pour les lier plus ſolidement avec les baux.

Il faut remarquer qu'il n'y a point d'autres piéces de bois ſituées ſi avantageuſement, pour s'oppoſer à l'accident qu'il s'agit de prévenir. La plus grande partie des bordages qui revêtiſſent la Carène, bien loin de s'y oppoſer, contribuent plutôt à le faire augmenter. Tous ceux de deſſous n'ayant été aſſujétis que par force à la figure du Vaiſſeau, font toujours quelque effort pour ſe redreſſer, & ſi cet effort étoit conſidérable, il eſt évident qu'il ſeroit nuiſible. Les bordages plus hauts, & même les preſceintes, qui ſont des bordages beaucoup plus épais, qui ſervent comme de ceintures par en haut au Navire, font peu d'effet, vû leur courbure. Mais rien ne ſe perd de la force des illoires & des bordages du pont : elle s'oppoſe toute entiere à la chute de la prouë & de la poupe, pourvû qu'on la mette en action; & pour cela il ſuffit que les ponts ayent aſſez de force, & ſoient parfaitement droits; ſans qu'il importe d'ailleurs qu'ils ſoient paralleles à la quille, ou qu'ils ſoient moins élevés vers l'avant que vers l'arriere, comme ils l'ont été juſqu'à préſent.

Si cette précaution ne ſuffit pas, on pourroit avoir recours à l'expédient ſuivant, qui paroît d'une application aſſez facile. On ſoutiendroit les baux de diſtance en diſtance par le milieu par pluſieurs piéces de bois verticales, qui s'appuyeroient ſur la carlingue, à peu près comme le repréſente la figure 40. Ces piéces de bois ou fortes épontilles, ſont marquées par ON, ML, &c. il n'en faudroit, à ce que je crois, que 7 ou 8 dans les plus grands Vaiſſeaux; & on mettroit enſuite des barres de fer qui deſcendiſſent de la tête de ces épontilles au pied de l'autre, comme FH, GD, FM, LO, &c. en même tems que d'autres barres de fer lieroient toutes les têtes N, L, F, &c. les unes aux autres. Deux des barres de fer obliques deſcendroient de la tête de l'épontille FE du milieu : car

il faudroit donner à ces barres obliques une disposition contraire dans la partie de la prouë & dans celle de la poupe. Il suffiroit, à ce que je crois, qu'elles eussent toutes environ deux pouces de diamétre dans les plus grands Vaisseaux ; ce qui les rendroit capables d'un effort absolu de plus de 180 tonneaux. Elles saisiroient par de bons cercles le haut des piéces de bois; & celles qui descendent obliquemeut, embrasseroient en forme d'étriers non-seulement la carlingue, mais même la contre-quille. Les dernieres barres de fer IK & NP, viendroient se rendre à l'étrave & à l'étambot qu'elles embrasseroient aussi par de forts étriers. Mais il faudroit que la longueur de toutes ces barres de fer se pût racourcir un peu ou par des clavettes, ou par des coins, à cause de la difficulté qu'il y auroit en les mettant en place, de leur donner d'abord la juste longueur qu'elles doivent avoir. La quantité de fer qu'il faudroit pour tout cela ne seroit pas considérable; elle ne seroit gueres que la moitié de celle qui est nécessaire pour les ancres : mais on n'auroit point à se plaindre, s'il falloit en employer une quantité deux ou trois fois plus grande.

Notre attention à proposer ces expédiens, ne doit pas nous faire en oublier un autre qui est déja en usage, & que nous devons à feu M. Gobert, Sous-Inspecteur de Construction. Il consiste à poser les bordages qu'on nomme végres, & qu'on applique sur les membres dans le Vaisseau, non pas parallelement à ceux de dehors, mais obliquement. Cette pratique ne peut avoir que d'excellens effets : car lorsque les bordages tant intérieurs qu'extérieurs, étoient étendus dans le sens de la quille, il arrivoit lorsque le Navire s'arquoit, que les espéces de rectangles que forme l'assemblage des membres & des bordages, ne faisoient simplement que changer un peu de figure, en devenant des lozanges; & il suffisoit pour cela que deux angles s'ouvrissent un peu, pendant que les deux autres se fermoient. Mais lorsque le végrage est posé obliquement, il sert comme de diagonale à ces rectangles, un &

ſimple changement d'angles ou de diſpoſitions dans les côtés, ne ſuffit plus, pour que le Navire s'arque : il faut que ces bordages qui ſervent de diagonales, s'allongent ou ſe racourciſſent ; & c'eſt ce qui eſt incomparablement plus difficile. Il ſuit de-là que l'obliquité des végres eſt inutile dans le fond du Navire, ou dans la partie qui eſt preſque horiſontale ; mais qu'il faut l'employer principalement ſur les parties des deux flancs qui ſont à peu près verticales ; parce que c'eſt dans ces endroits où les rectangles formés par les membres & par les bordages extérieurs, changent le plus de figure dans l'accident qu'on veut éviter. Je ne ſçaurois non plus approuver le végrage dont on fait des compartimens, ou comme un parquet. Toute interruption dans les ouvrages de charpente, qui doivent être ſolides, eſt dangereuſe. Il vaut mieux que les végres ſoient de longues piéces ; & pour ne pas diminuer de leur longueur, je crois qu'il n'y auroit point d'inconvénient à les rendre toutes paralleles les unes aux autres dans leur obliquité, depuis l'avant juſqu'à l'arriere.

CHAPITRE III.

Où l'on examine ſi les moyens indiqués dans le Chapitre précédent, ſont ſuffiſans pour empêcher les Navires de s'arquer.

IL n'eſt pas difficile de s'aſſurer de la validité des expédiens qu'on vient d'indiquer, pourvû qu'on ſupoſe néanmoins differentes choſes que nous ne pouvons expliquer que dans la ſuite. Pour une plus grande ſimplicité, nous conſidererons le Navire comme s'il étoit formé de deux cônes, & de deux cônes égaux joints par leurs baſes. La coupe verticale de ces deux cônes, ſelon leur longueur, eſt repréſentée par le triangle ABC (Fig. 41.) ou ce qui revient au même, les deux cônes qui forment la carène Fig. 41.

Fig 41. du Navire, font produits par une demi-révolution du triangle ACB autour du côté AB qui sert d'axe. Toutes les coupes de la carène, faites perpendiculairement à sa longueur, sont des demi-cercles, & on peut leur attribuer une épaisseur infiniment petite par tout égale, pour pouvoir les traiter comme des élemens des deux cônes. Le Navire est soutenu en chaque endroit par l'eau à proportion du volume qu'occupe sa carène; ainsi il sera effectivement soutenu en chaque point de sa longueur, par une force proportionelle à chaque de ces coupes ou tranches verticales élementaires. Il sera soutenu au milieu par un volume d'eau égal à la tranche verticale qui a DC pour rayon; de la même maniere qu'il sera soutenu en I & en L par des volumes d'eau qui seront égaux aux tranches qui ont IO & LP pour semi-diamétre: c'est ce qu'on verra dans le Livre suivant. Mais puisque l'étenduë des tranches est proportionelle au quarré de leurs rayons, & que ces rayons sont proportionels aux distances AD, AI, BL à l'une ou à l'autre extrémité de la carène, la force avec laquelle l'eau soutient chaque point de la longueur du Navire, & qui est proportionelle aux quarrés de DC, de IO, de LP, &c. l'est donc aussi aux quarrés des distances AD, AI, LB de ces endroits à l'extrémité de la prouë ou de la poupe; & par conséquent ces differentes forces peuvent être exprimées par les ordonnées de deux complémens paraboliques AHE & BKE, compris entre les paraboles AHE, BKE, & la droite ADB, qui est tangente à leur sommet A & B.

Telle est la distribution de la force qui soutient le Navire; mais malheureusement le poids du Vaisseau n'est pas distribué de la même maniere. Son milieu est soutenu avec plus de force, & c'est ce même milieu qui est quelquefois moins pesant, parce que les extrémités sont chargées de gaillards, de dunettes, ou de quelques autres choses équivalentes. Je supose que la pesanteur du Navire est la même dans toute sa longueur, ou qu'elle est exprimée par les ordonnées du rectangle ABGF, qui doit

être par conséquent de même grandeur que les deux complémens paraboliques joints ensemble ; puisque, comme nous le montrerons, la pesanteur du Navire est exactement égale à la force qui le soutient. Le rectangle n'est égal aux deux complémens, que lorsque sa hauteur DC est le tiers de la plus grande ordonnée DE des espaces paraboliques. Ainsi le triangle mixtiligne HKE exprime combien le Navire est trop poussé en haut par le milieu de sa carène ; & les deux espaces paraboliques AFH & BGK, marquent au contraire combien il s'en faut que les deux exrémités soient assez soutenuës. Vers le milieu du Navire, la force ED ou RS, avec laquelle l'eau le pousse en haut en chaque point de sa longueur, est plus grande que la pesanteur DC ou ST avec laquelle il tend à descendre ; & l'excès est exprimé par EC ou RT. Vis-à-vis des points H & K où les paraboles coupent le côté FG du rectangle AG, les forces HI & KL de l'eau, sont précisément égales aux pesanteurs IH & LK, qu'a le Navire dans cet endroit ; & au-delà des points H & K, les pesanteurs du Navire sont plus grandes que les forces verticales de l'eau. Or l'espace parabolique HEK qui est formé de tous les excès CE, RT, qu'a la force de l'eau sur la pesanteur du Navire, exprime donc combien la carène est trop poussée en haut vers le milieu ; & par la même raison les deux segmens AFH & BGK, expriment combien la pesanteur des deux extrémités est plus grande que la force de l'eau qui les pousse en haut : D'où il suit qu'ils expriment la force qui tend à faire arquer le Navire, en faisant tomber la prouë & la poupe. Fig. 41.

Puisque HI est le tiers de ED, il faut que AI soit à AD, comme $\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 1, & soit à AB comme $\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 2, à cause de la proprieté de la parabole ; & le segment AFH qui est les deux tiers du rectangle AFHI, sera par conséquent au rectangle entier ABGF, qui exprime la pesanteur totale du Navire, comme $\frac{1}{3}\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 1. C'est-à-dire donc que la force avec laquelle la prouë ou la poupe tend à tomber, est le $\frac{1}{3}\sqrt{\frac{1}{3}}$ de toute la pesanteur du Vaisseau, ou environ les $\frac{10}{52}$.

Une remarque qui se présente, & qui est trop importante pour qu'on l'obmette, c'est que si le Navire, au lieu d'être entierement chargé, ou lesté, est presque vuide, comme ce sera de son milieu qu'on aura ôté le plus grand poids, ses diverses pesanteurs en chaque point de sa longueur ne seront plus exprimées par des lignes égales, ou par les ordonnées d'un rectangle, mais par celles d'une ligne courbe FTG (Fig. 42.) Alors DT marquera la pesanteur du Navire au milieu, & AF & BG aux deux extrémités, &c. Mais le Vaisseau étant moins pesant, enfoncera moins dans la Mer: il ne se plongera peut-être plus que jusqu'à la droite VZ, & les forces qu'aura l'eau pour le soutenir, seront exprimées par les ordonnées d'une ligne courbe IEL. Or l'étenduë, ou l'aire de cette courbe qui est la somme de toutes ses ordonnées, sera bien encore égale à l'étenduë AFTGB, qui représente la somme des pesanteurs du Navire: Mais on voit que toutes les pesanteurs & que toutes les forces qui les soutiennent, seront encore distribuées plus differemment, & que l'espace AFHI ou BGKL, qui marque alors combien la prouë ou la poupe tend plus à descendre qu'elle n'est soutenuë, deviendra ordinairement plus grand. Ainsi il est à propos que les Navires dans le Port même, ne soient jamais sans quelque charge ou sans quelque lest: & on voit également que ce lest doit être principalement appliqué vers le milieu de la cale.

Fig. 42.

Je reviens donc au cas que nous examinions, & je supose que le Navire étant entierement chargé ou lesté, enfonce dans l'eau jusqu'à l'axe AB des deux cônes (Fig. 42.), ce qui est cause que la force avec laquelle la prouë ou la poupe tend à tomber, malgré l'effort contraire de l'eau, est représentée par l'espace parabolique AFH, qui n'est égal qu'aux $\frac{10}{81}$ du rectangle entier AG, qui exprime la pesanteur totale du Navire. Si nous voulons avoir maintenant l'énergie ou le moment de cette force, nous considererons que plus elle est éloignée du milieu du Navire, plus elle agit, & qu'il faut donc la multiplier par la distan-

Fig. 42.

ce du centre de gravité M ou N de chaque eſpace parabolique à la verticale DC : car c'eſt cette diſtance qui ſert de bras de lévier. Le centre de gravité M répond aux $\frac{3}{8}$ de AI; & par conſéquent ſa diſtance au milieu du Navire eſt à AD comme $1 - \frac{3}{8}\sqrt{\frac{1}{3}}$ eſt à 1, ou en eſt environ les $\frac{78}{100}$: d'où il ſuit que le moment de la force avec laquelle la prouë ou la poupe tend à deſcendre, eſt égal à $\frac{10}{52}$ de la peſanteur du Navire, multipliée par les $\frac{39}{100}$ de la longueur totale, ou à toute la peſanteur multipliée par $\frac{39}{520}$ de la longueur. Il ne reſte plus après cela qu'à attribuer les dimenſions qu'on voudra au Navire, pour avoir la quantité effective de la force dont il s'agit. Si le Navire a 100 pieds de long & 30 de large, ſa peſanteur ſera d'environ 450 tonneaux; & ſi on la multiplie par les $\frac{39}{520}$ de ſa longueur, il viendra environ 3712 pour le moment ou pour la force relative qui tend à faire deſcendre chaque extrémité du Navire, & à ouvrir par conſéquent l'angle ACB. Fig. 41.

Rien ne doit s'oppoſer avec plus d'efficacité à cet effet, que les ponts que nous ſupoſons étendus en ligne droite depuis A juſqu'au B. La poupe & la prouë ne peuvent pas tomber ſans que le pont ne s'allonge; & pour y mettre obſtacle, il n'y a qu'à rendre ſes bordages aſſez forts. Le pont eſt élevé de 15 pieds au-deſſus du point C, qui ſert d'hypomoclion, & le moment de ſa force, ou le produit de cette force par 15 pieds, doit être égal à 3712, moment de la force contraire. C'eſt pourquoi je diviſe ce nombre par 15, & il me vient 247 tonneaux pour la réſiſtance dont doit être capable le pont ſelon ſa longueur. Or cette force n'eſt que très-peu de choſe, en comparaiſon de celle dont il ſera toujours effectivement capable, quand on le voudra. Je ne dis pas les illoires, mais deux de ſes bordages doivent fournir autant de force qu'il en faut; puiſqu'une planche de chêne qui a un pied de largeur, & un pouce & demi d'épaiſſeur, a une forme de 144 tonneaux, à proportion d'une poutre groſſe d'un pied en quarré, qui ne ſe doit rompre, comme nous l'avons vû, que par un poids de 1152 tonneaux : Outre cela nous

avons fait toutes les ſuppoſitions les moins favorables que nous avons pû. Car quoique nous ſoyons d'avis qu'on diminuë le renflement de la prouë & de la poupe, nous ne prétendons pas qu'on les rende côniques ; ainſi l'une & l'autre ſera plus ſoutenuë par l'eau que nous ne l'avons ſupoſé. Il eſt auſſi très-difficile que dans un Navire chargé ou leſté, chaque coupe verticale des extrémités, peſe autant que celle du milieu.

Ainſi il n'y a point de doute que ſi les Vaiſſeaux s'arquent, ou que ſi leurs extrémités tombent, c'eſt parce qu'on n'a pas ſçu tirer tout le parti qu'on pouvoit, de la force du pont ; & on y a manqué principalement, parce qu'on l'a rendu courbe dans ſa longueur, & qu'on a obmis en même tems de le lier aſſez fortement avec les deux extrémités du Navire, ou avec l'étambot & l'étrave. Comme pluſieurs raiſons de convenance empêchent de l'étendre juſqu'à cette derniere piéce, il faut au moins le lier avec le bau le plus voiſin avec de fortes barres de fer. Il ne faut pas non plus que le pont qui doit être formé par des bordages bien continus, vienne ſe terminer ſimplement à l'arriere ſur la barre d'arcaſſe qui ſoutient ſon extrémité : il faut qu'il y ſoit arrêté & fixé avec des bandes de fer cloüées ſur l'un & ſur l'autre, & que cette barre d'arcaſſe ſoit aſſez forte pour ne pas plier, de même que toutes les autres qui ſont en deſſus & en deſſous. Le même motif engage à fortifier la prouë encore plus qu'on ne le fait, par ces piéces de bois courbes & placées horiſontalement en dedans, qu'on nomme guirlandes. On peut, pour les mieux maintenir dans le même état, & les empêcher de céder en ſe courbant davantage, les ſoutenir par pluſieurs faux baux. On doit avoir enfin toujours en vûe dans l'aſſemblage des parties d'un Navire, de mettre toutes ſortes d'obſtacles à ſon rétreciſſement & à ſon ralongement par en haut.

CHAP.

CHAPITRE IV.

De la résistance relative des Corps solides, & de la force qu'il faut donner à diverses parties du Navire.

I.

LORSQU'ON veut comparer la résistance absoluë des corps solides à leur résistance relative, c'est-à-dire à la résistance qu'ils font lorsqu'on travaille à les rompre, en les tirant de côté ou perpendiculairement à leur longueur, on trouve dans cette comparaison des difficultés qui ont arrêté jusqu'à présent les plus grands Géométres. Galilée avoit considéré les fibres des corps comme parfaitement rigides, ou comme incapables d'extension; on a vû depuis, & on doit cette attention à M. Mariote, que les fibres qui étoient obligés de s'allonger davantage, résistoient aussi plus; au lieu que celles qui étoient plus voisines du point sur lequel se faisoit la rupture, & qui n'étoient sujettes à aucun allongement, n'étoient presque point mises en action. A la fin on a reconnu que pendant qu'une partie des fibres s'allongeoient, les autres se comprimoient: & on eût pû ajouter encore une derniere considération, qui a échapé, à ce que je crois, que les fibres changent de direction, & cessent pendant l'effort de la rupture, d'être paralleles les unes aux autres. Si pendant qu'une piéce de bois est engagée dans un mur par une de ses extrémités, on la charge d'un grand poids par l'autre bout; à mesure qu'on raprochera le poids, on pourra le rendre plus grand, sans craindre que la poutre se rompe. En raprochant dix fois plus le poids, on pourroit l'augmenter dix fois plus; mais si on l'appliquoit donc tout-à-fait proche du mur, ou qu'on rendît nulle sa distance au point d'apui, on pourroit, ce semble, le rendre infini: ce

qui eſt fort éloigné d'être vrai, à cauſe de la conſidération que nous venons de faire, ou parce que les fibres ſe couchant les unes ſur les autres, leur direction ſe trouve extrémement raprochée du point qu'on peut conſidérer comme hypomoclion pendant la rupture. C'eſt auſſi ce qu'on reconnoît tous les jours par l'expérience, qui montre que la ſeconde eſpéce de réſiſtance abſoluë, dont nous avons parlé dans le premier Chapitre, eſt très-limitée; bien loin d'être infinie, comme on l'a ſupoſé juſqu'à préſent dans tous les ſyſtêmes qu'on a fait ſur la réſiſtance des corps ſolides. Nous croyons qu'on néglige encore outre cela quelques autres attentions qui ne ſont pas moins importantes.

Ce n'eſt pas ici le lieu d'entrer dans une diſcuſſion ſi difficile : il vaut mieux trouver le moyen de s'en diſculper; & on y réuſſira auſſi-tôt qu'on n'entreprendra point de déduire de la force abſoluë, la force relative, & qu'on évitera auſſi certains cas extrémes qui ne ſont pas ordinaires dans la pratique. Lorſqu'on fait effort pour rompre de côté une piéce de bois (Fig. 43.), en la tirant ſelon une direction AG, elle réſiſte à proportion de la groſſeur ou de la multitude des fibres qui ſont renfermées dans chaque coupe perpendiculaire CD. Mais outre cela ces fibres réſiſtent encore plus ou moins, ſelon qu'elles ſont plus ou moins éloignées du point C, qui ſert d'hypomoclion, & ſur lequel doit ſe faire la rupture : car elles ſont appliquées comme à un bras de lévier plus long. Le lévier entier eſt angulaire, c'eſt ACD; la puiſſance qui l'exerce ſelon la direction AG, eſt appliquée au bras CA, en même tems que les fibres qui réſiſtent, ſont appliquées à diverſes diſtances de l'hypomoclion C, le long de l'autre bras CD. Il feroit difficile de déterminer le centre précis dans lequel il faudroit conſidérer toutes ces fibres, pour avoir leur effort moyen; mais tant qu'on ne comparera les uns aux autres que des corps, dont les coupes ſont des figures ſemblables, il n'y aura qu'à prendre le centre de gravité de ces coupes pour centre d'effort, & il s'en-

Fig. 43.

Digitized by Google

ſuivra que les réſiſtances relatives des corps ſolides de differentes groſſeurs, ſeront comme les cubes des dimenſions ſimples de ces groſſeurs. Il n'importe auſſi que ce ne ſoit par le point d'en bas de la piéce qui ſerve d'hypomoclion, mais que ce ſoit le centre de toute la partie inférieure comprimée, puiſque ce centre doit ſe trouver toujours à peu près placé proportionellement au même endroit. Si une poutre eſt donc trois fois plus groſſe qu'une autre, c'eſt-à-dire qu'elle ait trois fois plus de largeur & trois fois plus d'épaiſſeur, elle rejettera 27 fois davantage, ou ſoutiendra un poids 27 fois plus grand, appliqué à la même diſtance. La ſeule groſſeur de la poutre fait qu'elle a 9 fois plus de fibres qui réſiſtent dans chaque coupe CD; mais outre cela ces fibres ſont ſituées trois fois plus avantageuſement: car la poutre étant trois-fois plus épaiſſe, les fibres ſont appliquées à trois fois plus de diſtance du point C, ou de tout autre point. Une partie de ces fibres ſont plus éloignées, & les autres plus voiſines; mais toutes conſidérées comme réunies dans un certain centre, afin de faire une compenſation, ſont trois fois plus éloignées du point d'apui dans la groſſe poutre que dans l'autre. En un mot, indépendamment de la force qui naît de la plus grande multitude des fibres, la groſſeur contribuë encore à la force; & c'eſt par cette raiſon qu'une piéce de bois qui ne réſiſte pas plus qu'une barre de fer, lorſqu'on la tire dans le ſens de ſa longueur, réſiſte cependant beaucoup davantage lorſqu'on la tire de côté, ou qu'on fait effort pour la plier.

Quoiqu'il en ſoit, il ſuffit de faire des expériences ſur des corps de peu de groſſeur, pour pouvoir juger à peu près de la force des corps les plus gros de même matiere, pourvû que les coupes des uns & des autres faites perpendiculairement à leur longueur, ſoient des figures ſemblables. C'eſt-à-dire qu'on ne peut pas juger dans la rigueur, de la force d'une poutre quarrée, par l'examen qu'on fera de la force d'un bâton parfaitement rond; quoiqu'on ſoit attentif, comme nous l'avons déja recommandé, de choiſir ce

bâton vers le milieu du rayon de l'arbre, ou à peu près à égale distance du centre & de la circonference. Cependant, comme il n'est question le plus souvent dans l'usage ordinaire, que de sçavoir si on peut compter assez sur la force d'un corps, sans qu'il soit nécessaire de sçavoir la quantité précise de cette force, on peut presque toujours prendre pour régle, que la résistance relative des corps de même matiere, est proportionelle au produit de l'étendue des coupes faites perpendiculairement à la longueur, multipliée par la distance du centre de gravité des mêmes coupes au point sur lequel se fait la rupture. Il suit de-là qu'une poutre horisontale placée de champ, & chargée d'un fardeau, doit résister davantage, que située de plat. Si la poutre a trois fois plus d'épaisseur ou de hauteur que de largeur, elle résistera environ trois fois plus dans la premiere situation. La difference, comme il est évident, ne vient que de ce que le total des fibres dans le premier cas, est trois fois plus éloigné du point qui sert d'apui.

Pour éclaircir ce qu'on vient de dire par un exemple, nous prendrons pour principe d'expérience, qu'une régle de chêne de l'espece qu'on nomme verd, qui a le plus de force, d'un pouce en quarré de grosseur, & placée horisontalement, peut soutenir à un pied de distance, un effort un peu moindre que 130 livres. C'est ce que nous suposons qu'on a vérifié, & nous cherchons combien doit soutenir à proportion une poutre scellée dans un mur par une de ses extrémités, & qui a 14 pouces d'épaisseur sur 10 de largeur. Les forces relatives étant proportionnelles à l'étendue des coupes multipliées par la hauteur de leur centre de gravité au-dessus du point sur lequel se fait la rupture; nous aurons $1 \times 1 \times \frac{1}{2}$ pour *l'exposant* de la force relative de la régle, puisque 1×1 exprime l'étendue de la coupe, & que son centre de gravité étant au milieu de l'épaisseur, est à $\frac{1}{2}$ pouce au-dessus de la base. D'un autre côté, & par la même raison, $10 \times 14 \times 7$ est *l'exposant* de la force relative de la poutre. Ainsi nous aurons cette analogie $1 \times 1 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$: 130 livres :: $10 \times 14 \times 7 = 980$: 254800 livres; &

ce quatriéme terme 254800 livres indiquera la puissance qui étant appliquée à 1 pied de distance, peut encore être soutenue par la poutre proposée. Il est évident qu'il faudra diminuer cette puissance à mesure qu'on l'apliquera à une plus grande distance du point d'apui : suposé qu'on l'éloignât de 30 pieds, il faudroit la rendre 30 fois moindre ; ce seroit assez qu'elle fût de 8493 livres. Nous suivons dans cette diminution la régle générale, qui est fondée sur les principes les plus certains de la Mecanique : mais le Physique qui s'y mêle souvent, est quelquefois cause que cette derniere régle souffre ici quelque exception, comme je le dirai dans le Chapitre suivant.

II.

On pourra estimer aussi à peu près par le même moyen, la force d'un assemblage de charpente ; nous avons le soin de dire qu'on l'estimera à peu près ; & on doit même étendre beaucoup le sens de cette restriction nécessaire. Car on court risque lorsqu'on examine un assemblage de charpente de tomber dans un inconvénient encore plus grand, que si l'on comparoit la force de deux pieces de bois qui eussent differentes figures. Proposons-nous *les bittes* qui sont formées de deux poutres verticales AB, CE (Fig. 44) Fig. 44.
& d'une troisiéme qui est horisontale. La premiere résistera d'autant plus à un effort fait de côté, & horisontalement de droit à gauche, que l'intervalle EF sera plus grand, parce que ses fibres qu'on peut considérer comme réunies en F, seront situés plus avantageusement par raport au point d'apui H. Ainsi la force des bittes dans le sens spécifié, est proportionelle à la somme des deux produits de l'étendue de la coupe BD par la distance FH, & de l'étendue de la coupe HG par la distance HE. Si chacune des poutres verticales est de chêne d'un pied quarré de grosseur, elle pourra soutenir à un pied de distance, un peu moins de 224640 livres ; de sorte qu'il semble que les deux poutres ne devroient résister qu'à un effort de 449280 livres. Mais si l'intervalle qu'on met entr'elles,

Fig. 44. rend la distance FH de quatre pieds, la premiere qui ne pouvoit soutenir en particulier que 224640 livres, en soutiendra huit fois davantage, parce que toutes les fibres dont le centre de réunion est en F, seront aidées par un bras de lévier FH huit fois plus long. Ainsi les deux poutres soutiendront ensemble un effort horisontal de 2021760 livres qui s'exerceroit sur une direction élevée d'un pied au-dessus du point B.

Lorsque deux poutres AD & CH sont à quelque distance l'une de l'autre, & cependant fortement liées ensemble, l'une des deux ne s'oppose nullement par sa force à la rupture, elle ne fait que servir d'apuy; c'est à quoi il faudroit faire attention, si l'on entreprenoit de rendre le calcul précedent tout-à-fait exact. La poutre CH ne peut pas s'oposer à la rupture par la force de ses fibres, parce qu'elle se trouve comprimée dans toute l'étendue de sa coupe HG, & qu'avant que ses fibres qui sont vers G, puissent commencer à s'étendre & à agir, il faudroit presque toujours que l'autre poutre AD fût déja rompue. Mais en récompense, cette autre poutre est capable d'une plus grande résistance: car nulle de ses fibres vers D, n'est occupée à soutenir l'effort de la compression; toutes sont en action; & celles qui sont vers D, presque aussi tendues que celles qui sont vers B, agissent aussi presque autant: De sorte que cette seconde poutre résiste non-seulement davantage, parce qu'elle est plus éloignée de l'autre, mais encore parce que toutes ses fibres font un effort plus égal, & qui a plus de conformité à l'effort absolu, ou à cet effort que fait une piéce de bois, lorsqu'on la tire exactement selon sa longueur.

C'est par le concours de toutes ces raisons que les tuyaux de quelque matiere un peu forte, résistent si puissamment aux efforts qu'on fait pour les rompre de côté; & c'est ce qui se raporte à ce que nous avons dit plus haut de l'effort que produit la grosseur seule. Si toute la matiére qui forme un tuyau, étoit rassemblée ou resserrée dans un seul corps, & que le vuide du milieu fût suprimé, elle ne résisteroit presque point, parce que toutes les fibres

Digitized by Google

feroient trop voisines du point qui sert d'hypomoclion, pendant la rupture. Mais qu'on étende la même quantité de matiére, qu'on la dilate en forme de tuyau, il n'y aura toujours que le même nombre de parties qui résisteront; mais elles le feront davantage, à mesure que le rayon du tuyau sera plus grand. Si nos lumieres sont si foibles que les traits de la Sagesse infinie qui a tout fait, nous échapent presque sans cesse, nous sommes au moins à portée de reconnoître celui-ci, par lequel diverses plantes, les plumes des oiseaux, la plûpart des os des animaux, ont reçu une force suffisante; & cela, pour ainsi dire, avec le moins de frais qu'il s'est pû, en épargnant avec art la matiére, afin de diminuer le poids.

III.

Il faut aussi souvent, pour juger de la bonté d'un assemblage de charpente, faire attention à cette seconde espéce de force absoluë, dont nous avons déja parlé, laquelle peut devenir relative selon les circonstances. Suposons, pour en donner un exemple, que ne trouvant pas de bois propre à faire *une courbe*, ABC (Fig. 45.) dont on a expliqué l'usage dans le Chapitre II. de la premiere Section, ou la forme de deux parties ABD & CDEF, & qu'on les cheville fortement ensemble. Lorsque la courbe est d'une seule piéce, il faut qu'elle se rompe dans sa plus grande épaisseur BF, pour que l'angle que forment les deux jambes se ferme ou s'ouvre : mais la courbe étant composée de deux piéces, il n'y a que les seules chevilles qui s'opposent à la rupture, & il suffit qu'elles cassent, pour que tout l'assemblage manque. Il est vrai qu'elles feront une résistance relative plus ou moins grande, selon qu'elles seront plus ou moins éloignées du point F, qui sert d'hypomoclion. Mais cette résistance, comme il est évident, ne doit jamais être comparable à celle que feroient toutes les fibres contenuës dans la coupe faite selon BE, qui résisteroient aussi à proportion de leur distance au point F. D'un autre côté si on mettoit des chevilles de fer, elles ne se rompe-

Fig. 45.

Fig. 45. roient peut-être pas; mais comme tout l'effort qu'elles ſoutiendroient, retomberoit ſur les ſeules parties de bois qui ſont en arriere, & non pas ſur toute la piéce; ces parties ſe détacheroient d'autant plus aiſément, qu'elles le pourroient faire en ſe rompant, ſelon même le fil du bois, ou ſelon la longueur des fibres. Il ſuit de-là qu'il eſt très-difficile de rendre ſuffiſamment ſolide une courbe formée de deux piéces. On peut y réuſſir en la chargeant de bandes de fer par dehors l'angle & par dedans; & en liant outre cela ces bandes l'une à l'autre par d'autres barres; ſi ce n'eſt qu'il vaudroit ſans doute beaucoup mieux la faire alors entierement de fer.

La remarque que nous faiſons ſur l'inconvénient qui ſe trouve dans l'uſage des chevilles ou des cloux, doit avoir lieu dans pluſieurs autres rencontres, & principalement lorſqu'il s'agit d'arrêter les bordages. Comme ils ne ſont jamais aſſez longs pour aller d'une extrémité du Navire à l'autre, on ſe contente de clouer les deux extrémités des deux bordages ſur le même bois. Mais au lieu que dans un bordage continu, c'eſt la totalité de ſes fibres qui forme la force ou la réſiſtance, ce n'eſt que la petite partie de bois qui eſt derriere le clou, qui ſoutient tout l'effort dans les bordages mis les uns au bout des autres.

IV.

On peut ſouvent s'épargner la peine d'examiner en détail la force particuliere des parties du Navire, en ſe contentant de chercher la loi que doivent ſuivre leurs groſſeurs dans differens Vaiſſeaux. Il n'y a pour cela qu'à ſupoſer que le nombre des piéces eſt toujours le même; mais qu'on les a rendu plus larges à proportion que le Navire eſt plus long; & il ne s'agira plus que de déterminer leur épaiſſeur. Propoſons-nous la quille, & ſupoſons donc que ſa largeur eſt proportionelle à ſa longueur. Dans les Navires ſemblables, les ſolidités ou les peſanteurs ſont comme les cubes des longueuts; & outre cela cette peſanteur, ſelon que le Navire eſt plus grand, agit encore davantage,

davantage, soit dans les abordages, soit lorsque le Navire *touche*, parce qu'elle est aidée par un bras de levier plus long. Ainsi les forces relatives qu'a le Navire pour se briser dans un certain point, sont comme les quarrés quarrés de sa longueur. D'un autre côté la quille est plus large dans le même raport que la longueur; & sa force relative dépend deux fois de sa hauteur, puisque la coupe ou la tranche qui représente la multitude des fibres est plus grande, selon qu'on augmente cette hauteur, & qu'en même tems les fibres sont appliquées à un bras de levier plus long. C'est-à-dire que les résistances relatives de la quille, sont comme ses largeurs multipliées par les quarrés de ses épaisseurs, ou ce qui revient au même, à cause de la suposition que nous avons faite touchant la largeur, les résistances relatives de la quille sont comme les longueurs du Navire, multipliées par les quarrés des épaisseurs de cette piéce de bois. Mais ces résistances doivent être égales ou proportionelles aux efforts relatifs que fait le Vaisseau pour se briser, efforts qui sont exprimés par les quarrés quarrés de ses longueurs, il s'ensuit donc (en divisant de part & d'autre par la longueur) que les quarrés des épaisseurs de la quille doivent être comme les cubes des longueurs du Navire. Suposé que le Vaisseau soit 4 fois plus long, sa pesanteur seroit 64 fois plus grande, & sa force relative ou son énergie pour se briser, augmenteroit encore 4 fois, & seroit exprimée par 256. Mais la quille étant plus large dans le même raport que le Navire est plus long, & le quarré de son épaisseur étant comme le cube de la même longueur, sa force relative sera aussi 256 fois plus grande. Car la quille sera 4 fois plus large & 8 fois plus épaisse; ce qui fait augmenter sa résistance relative précisément dans ce raport. Fig. 45.

Ce sera la même chose pour tous les membres : les quarrés de leurs épaisseurs doivent être comme les cubes des longueurs des Navires. Cependant cette régle n'a lieu que pour prévenir la rupture, ou plutôt l'enfoncement qui se peut faire dans l'endroit même qui reçoit l'abordage, ou

Fig. 45. qui eſt expoſé immédiatement à un certain effort. Car ſi on cherche l'épaiſſeur qu'il faut donner, par exemple, aux bordages, pour qu'ils puiſſent maintenir le Vaiſſeau dans le même état, ou l'empêcher de ſe rompre vers le milieu, lorſqu'il touche ſur un terrein inégal, & qu'il ne porte que par les deux extrémités, on trouvera que les épaiſſeurs ne doivent pas ſuivre la loi que nous venons de dire; mais qu'elles doivent être encore plus grandes à proportion dans les plus grands Navires. L'effort relatif que produit la peſanteur du Vaiſſeau, pour cauſer la rupture, eſt toujours comme le quarré quarré de ſa longueur; & les bordages réſiſtent d'autant plus à cet effort, qu'il y en a un plus grand nombre, ou qu'ils forment enſemble une largeur plus grande ſur la ſuperficie de la carène. Leur réſiſtance relative augmente encore par un autre endroit: ſi on prend leur diſtance moyenne au point ſur lequel ſe peut faire la rupture, il ſe trouvera toujours qu'ils ſont ſitués plus avantageuſement, ou appliqués à un bras de levier plus long, lorſque le Navire eſt plus grand. Ainſi leur réſiſtance relative augmente comme le quarré de la longueur ſeulement, parce que le Navire eſt plus grand: mais cet accroiſſement ne ſuffiſant pas, puiſqu'il faudroit qu'il ſe fît ſelon le quarré quarré, pour entretenir l'équilibre avec l'effort contraire, il eſt néceſſaire d'y ſuppléer par la plus grande épaiſſeur qu'on donnera aux bordages; & il faut par conſéquent la rendre proportionelle au quarré de la longueur. Si le Vaiſſeau eſt deux fois plus long, deux fois plus large, deux fois plus profond, il faut donc que les bordages, tant ceux que revêtiſſent la carène, que ceux qui couvrent les ponts, ſoient quatre fois plus épais; & ſi un Navire avoit toutes ſes dimenſions ſimples quatre fois plus grandes, il faudroit que les bordages euſſent 16 fois plus d'épaiſſeur. C'eſt ce qu'on a été fort éloigné d'obſerver juſqu'à préſent dans la Marine.

Comme on ne ſçait pas à quelle eſpéce d'accident le Navire ſera expoſé, il eſt toujours de la prudence de donner à ſes parties la plus grande épaiſſeur que preſcrit l'une

ou l'autre régle. Dans les Vaiſſeaux du troiſiéme rang, la quille a vers le milieu 19 ou 20 pouces de largeur & autant d'épaiſſeur, & quelques pouces de moins vers les deux extrémités; les varangues ont ſouvent un pied en quarré de groſſeur; les baux du premier pont qu'on met ordinairement à trois pieds de diſtance l'un de l'autre, ont 16 pouces en quarré, & les bordages ont 4 pouces d'épaiſſeur. On peut ſur cela ſe régler pour les autres Vaiſſeaux; & ſupoſé qu'on ne trouvât pas d'aſſez gros arbres pour former les piéces, il n'y auroit qu'à en mettre un plus grand nombre.

CHAPITRE V.

De la figure & de la groſſeur que doivent avoir les mâts & les vergues.

I.

AUSSI-TÔT qu'on ſçait que dans les corps dont les tranches ſont des figures ſemblables, les réſiſtances relatives ſont comme les cubes des diamétres des groſſeurs, ainſi qu'on l'a vû vers le commencement du Chapitre précédent, on eſt en état de détermiuer la figure des ſolides *d'égale réſiſtance*, ou qui réſiſtent également à la rupture dans tous les points de leur longueur. Une puiſſance eſt appliquée au ſommet A (Fig. 43.) d'un corps AB, & Fig. 43.
agit deſſus ſelon une direction AG perpendiculaire à l'axe de ce ſolide, dont toutes les tranches ſont des quarrés ou des cercles; cette puiſſance tendra à rompre le corps avec plus ou moins de force relative ou de moment, ſelon qu'elle ſera plus ou moins éloignée de chaque endroit où ſe peut faire la rupture. Proche du ſommet l'effort relatif de la puiſſance ſera foible; mais à une plus grande diſtance il ſera plus grand, & il ſera toujours proportionel à la

Fig. 43. longueur des parties AC de l'axe qui servent de levier à la puissance. Or les résistances relatives du solide, qui sont comme les cubes de ses diamétres, doivent être égales à ces efforts relatifs de la puissance, puisqu'on veut qu'il y ait un continuel équilibre. Ainsi les cubes des diamétres des grosseurs doivent être comme les longueurs des parties de l'axe, & par conséquent le solide qui résiste par tout également, doit être un conoïde formé par la premiere parabole cubique. A huit fois plus de distance du sommet, la puissance fait huit fois plus d'effort pour rompre le solide; mais dans cet endroit la grosseur aura un diamétre double, ce qui fera que le solide pourra résister huit fois plus. A 27 fois plus de distance du sommet, le solide aura un effort 27 fois plus grand à soutenir de la part de la puissance; mais il sera encore capable de le soutenir, puisqu'en cet endroit son diamétre sera trois fois plus grand; ce qui lui donnera 27 fois plus de force.

Il n'est pas nécessaire d'avertir que c'est cette figure que devroient avoir les mâts, pour n'être pas plus sujets à se rompre dans un point que dans un autre: Il est sans doute plus à propos d'insister un peu sur la maniere de tracer la parabole cubique dans l'usage ordinaire. Si on divise toute la longueur du mât en 64 parties égales, & son diamétre par le pied en 4 parties aussi égales entr'elles, il n'y aura qu'à donner au mât 3 de ces dernieres parties de diamétre vis-à-vis du point où finissent 27 parties de la longueur, à commencer du sommet. On donnera 2 parties de diamétre vis-à-vis de la fin de 8 parties de la longueur, & une partie de diamétre à la fin de la premiere de la longueur. Pour obtenir un plus grand nombre de points, il n'y a qu'à vis-à-vis de 60 parties, de 55, de 50, de 45, de 40, de 35, de 30, de 25, de 20, de 15, de 10, & de 5 de la longueur, donner de diamétre au mât $3\frac{91}{100}$; $3\frac{80}{100}$; $3\frac{68}{100}$; $3\frac{56}{100}$; $3\frac{42}{100}$; $3\frac{27}{100}$; $3\frac{11}{100}$; $2\frac{92}{100}$; $2\frac{71}{100}$; $2\frac{47}{100}$; $2\frac{15}{100}$ & $1\frac{71}{100}$ des mêmes parties, dont le diamétre du pied en contient quatre.

A l'égard des vergues, elles ne doivent pas avoir la

même figure ; elles doivent se terminer en pointe par les deux extrémités, & chaque moitié doit être formée par la révolution d'une seconde parabole cubique. La raison de cette difference est facile à voir : la puissance qui tend à rompre les vergues, est non-seulement appliquée à moins de distance vers les extrémités ; mais elle est aussi plus petite, parce que l'effort de la voile étant distribué tout le long de la vergue, il n'y en a qu'une partie qui tend à la rompre en chaque point. Tout l'effort que le mât doit soutenir, est appliqué à son sommet ; ainsi c'est toujours la même force absoluë qui travaille à le rompre ; au lieu que par raport à la vergue, l'effort absolu se trouve plus grand à mesure qu'on considere des points plus vers le milieu. Dans ce dernier point la vergue a de toutes manieres le plus grand effort à soutenir ; cet effort est non-seulement le plus grand, il est appliqué à la plus grande distance : mais si on examine la vergue en un point qui soit au quart de sa longueur, on verra que la partie de la voile qui travaille à la rompre, sera deux fois plus petite, & que son centre d'effort sera appliqué outre cela à deux fois moins de distance. En un mot, les forces relatives qui tendent à rompre la vergue, sont comme le quarré des distances à son extrémité voisine ; & puisque les résistances doivent faire équilibre avec ces forces, il faut que les cubes des diamétres des grosseurs soient comme les quarrés des distances à l'extrémité de la vergue. Il suit de-là que si on divise la moitié de la longueur en 64 parties égales, & le diamétre de la grosseur au milieu en 16, il faudra lui donner 9 de ces dernieres parties à la fin de 27 parties de longueur comptées depuis l'extrémité ; 4 parties de diamétre vis-à-vis de 8 de longueur, & une partie à la fin d'une. Fig. 43.

II.

Les deux figures que nous venons d'indiquer, sont vraisemblablement celles qu'il faut donner dans les plus grands Vaisseaux aux mâts & aux vergues. Comme il n'est pas pos-

Fig. 43. ſible de trouver d'arbres aſſez hauts & aſſez gros, on forme le milieu du mât par une longue piéce qu'on nomme *méche*, & on la revêtit de quatre ou cinq autres qu'on aplique deſſus, & qu'on ſerre avec de gros cercles de fer, mis de diſtance en diſtance. On trouve des arbres aſſez gros pour ſervir de mâts aux moindres Navires : les mâts formés d'une ſeule piéce, ſont beaucoup plus forts; il n'eſt pas néceſſaire de les rendre ſi gros à proportion, & il s'en faut même beaucoup. Mais il faut auſſi, à ce que je crois, leur donner une autre figure, parce que la réſiſtance qu'ils font, eſt à peu près la même que ſi l'action de la puiſſance qui tend à les faire rompre, croiſſoit en plus grande raiſon que la longueur du levier auquel elle eſt apliquée. Comparons, pour nous mieux expliquer, deux piéces de bois ſcellées dans un mur par une de leurs extrémités, & chargées par l'autre d'un grand poids qui les faſſe rompre; & ſupoſons que ces deux piéces ſoient exactement de la même groſſeur, mais que l'une ſoit deux fois plus longue que l'autre. Il eſt évident qu'à l'égard de la ſeconde, le levier étant deux fois plus long, il ne faudra mettre à ſon extrémité qu'un poids qui ſera la moitié du premier. C'eſt ce qui eſt vrai, ſupoſé qu'on faſſe abſtraction de la peſanteur des deux piéces. Car cette peſanteur eſt non-ſeulement deux fois plus grande dans le ſecond cas, elle eſt encore apliquée à un levier deux fois plus long. Ainſi elle a beaucoup plus de part à la rupture, elle y contribuë quatre fois plus; & par cette raiſon le poids qu'on met à l'extrémité de la piéce, doit être beaucoup plus petit que la moitié.

Mais ſupoſons que les piéces ſoient ſans peſanteur, ou ce qui vaut mieux, joignons leur peſanteur à l'effort de la puiſſance qui eſt apliquée à l'extrémité, & conſiderons le tout comme un ſeul poids. Lorſque la piéce ſera deux fois plus longue, il faudra d'abord diminuer le poids de moitié, conformément au grand principe de Mécanique. Mais ce poids étant moindre, les fibres dans le point de la rupture, ſeront moins tirées verticalement de haut en bas,

Digitized by Google

elles seront moins obligées de se coucher les unes sur les autres; l'effort absolu qu'aura l'hypomoclion à soutenir, sera moins grand, & les fibres tendues seulement dans le sens horisontal par l'effet du levier angulaire, seront plus capables de résister; ce qui prouve qu'elles pourroient soutenir un poids qui seroit un peu plus grand que la moitié, si ce n'est qu'il y a encore une ou deux considérations à ajouter. C'est que la piéce de bois dans toute la partie qui la rend plus longue, n'est pas exempte de se courber: cette nouvelle fléxion allonge nécessairement les fibres, & cet allongement ne laisse pas de contribuer à les roidir dans l'endroit même de la rupture, ce qui fait que la piéce de bois y est plus exposée à se rompre. Outre cela, comme le poids est fort éloigné, il se trouve un grand espace où la piéce a sensiblement le même effort à soutenir: ce n'est pas seulement un espace de 2 ou trois pieds, mais c'en est un peut-être de 10 ou 15: au lieu que lorsque la piéce est moins longue, ou que le poids est apliqué à très-peu de distance, l'effort n'est grand que dans un seul point, & il diminue subitement à cause du voisinage de la puissance. Cette difference d'action est si grande que lorsque les piéces de bois sont très-courtes, leur rupture est ordinairement beaucoup plus nette, & la section se fait presque perpendiculairement à la longueur: au lieu que lorsque la piéce est très-longue, la rupture se fait presque toujours très-obliquement, en commençant très-loin en dessus, & en se terminant en dessous vers le point d'apui. Fig. 43.

Il y a de cette sorte bien à distinguer entre les differens cas. Si une piéce de bois est prolongée par une barre de fer, ou même par une autre piéce de bois simplement entée à la premiere, & qu'on aplique un grand poids à l'extrémité, on peut alors avec beaucoup plus de fondement, ne considérer que la seule longueur du levier. Mais si c'est une seule piéce de bois beaucoup plus longue, il faut non-seulement avoir égard au plus long bras de levier, mais encore faire attention, comme nous l'avons dit, à la fléxion que souffre cette plus longue piéce dans son excès

Fig. 43. de longueur ; fléxion qui occasionnant un plus grand allongement de fibres dans tous les points, accelere infailliblement la rupture. Il faut considérer encore que quoique dans la rigueur l'effort ne soit le plus grand que dans un seul endroit, il est sensiblement le même dans un assez grand espace lorsque la piéce est plus longue, ce qui fait qu'elle se trouve comme surchargée, & qu'elle travaille davantage. Il est vrai que cette seconde considération a toujours lieu, & que s'il est permis de la négliger, c'est en suposant qu'elle est peu de conséquence par raport à la premiere.

Tout ceci demanderoit à être discuté par de nouvelles expériences, qu'il faudroit faire avec d'autant plus d'art, qu'il s'agit de séparer les differens cas les uns des autres, & de démêler les effets partiaux qu'on doit attribuer à chaque cause. Il faudroit aussi faire des épreuves sur les differentes matiéres ; car sans doute que le verre & les métaux ne sont pas sujets à la même loi lorsqu'ils se rompent. Nous pouvons, je crois, en attendant, suposer à l'égard du bois, que l'énergie ou le moment de l'effort qui travaille à le rompre, dépend de la longueur du bras de lévier élevée à une certaine puissance imparfaite, comme à celle dont $\frac{4}{3}$ ou $\frac{4}{5}$ est l'exposant. Il me paroît que jusqu'à ce que nous acquierions de nouvelles lumieres, on peut employer avec succès la derniere de ces puissances ; car on viendra à bout par son moyen de représenter assez exactement les résultats des expériences de M. de Buffon, lesquelles méritent d'autant plus de servir de régle, qu'elles ont été faites avec soin, & qu'elles ont l'avantage d'avoir été executées en grand. Ainsi suposé qu'une piéce de bois ait soutenu à son extrémité un poids de 20000 livres, une autre de la même grosseur, mais qui sera 4 fois plus longue, ne sera pas capable de soutenir 5000 livres : le poids doit être diminué dans le raport de $4^{\frac{4}{5}}$ à $1^{\frac{4}{5}}$; de sorte que la seconde piéce ne soutiendra gueres que 3550 livres.

Il suit clairement de-là qu'on doit donner une autre figure

gure aux mâts qui ne ſont formés que d'un *ſeul brin*. Nommant x les longueurs de leurs differentes parties, à commencer à leur ſommet, & y le diamétre de leur groſſeur, on aura $x^{\frac{5}{4}}$ pour les divers efforts relatifs que chaque point doit ſoutenir, & comme y^3 repréſentera toujours la réſiſtance en chaque endroit, on aura $x^{\frac{5}{4}} = y^3$ & $x^5 = y^{12}$: ce qui nous aprend que la figure que doit avoir le mât, differe alors beaucoup moins du conoïde formé par la parabole ordinaire. On peut ſuivre de plus près l'explication phyſique, & venir au même réſultat. L'effort que fait la puiſſance pour rompre le ſolide, eſt proportionel à la longueur x du bras de levier; mais la réſiſtance du mât n'eſt pas y^3, parce qu'elle eſt d'autant moindre que le ſolide eſt plus long. Cette réſiſtance n'eſt pas préciſément moindre dans le même raport, que x eſt plus grande; mais elle eſt à peu près $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}}$ pour le bois. Elle ſera ſans doutee differente dans toutes les autres matiéres ; & il y a bien lieu de croire que le numérateur y^3 de l'expreſſion doit auſſi un peu changer ; ou qu'au moins la puiſſance imparfaite à laquelle on doit élever x, dépend un peu de la grandeur du diamétre y du ſolide. Enfin on a $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}} = x$, & le reſte comme ci-deſſus.

Fig. 43.

Quant aux vergues, elles doivent toujours être plus aïguës par leurs deux extrêmités. L'effort abſolu qui travaille à les rompre, eſt déſigné par x, qui marque la largeur des differentes parties de la voile, à commencer depuis l'extrémité voiſine. Cet effort eſt outre cela apliqué à un levier dont la longueur eſt proportionelle à x. Ainſi on a x^2 pour l'énergie ou pour la force relative qui doit être égale à la réſiſtance $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}}$. On a donc $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}} = x^2$ ou $y^4 = x^3$ pour les vergues; ce qui rend leur forme encore plus conique.

III.

On n'a pas dans la Marine donné aux mâts & aux ver-

gues les figures qu'on vient d'indiquer : on ne s'y est pas moins trompé sur la figure que sur la hauteur de la mâture, quoiqu'on ait senti quelque chose de la diversité de forme que doivent avoir les mâts & les vergues; mais les Constructeurs ont néanmoins rencontré aussi parfaitement qu'il étoit possible, les grosseurs qu'il falloit leur donner par raport aux autres dimensions. Lorsqu'ils ont éprouvé que certains mâts étoient plus sujets à se rompre que d'autres, ils les ont rendus plus gros; & à force de tentatives, ils les ont mis à peu près dans le même état à cet égard, que si la Géométrie aidée de l'expérience, s'en étoit mêlée.

Nous ne nous arrêterons pas, afin d'être plus courts, à prouver ce que nous avançons ici en faveur de cette partie des régles vulgaires; le Lecteur, s'il le juge à propos, pourra s'en convaincre aisément, en suivant à peu près le même chemin qui va nous conduire à la détermination des grosseurs qu'il faudra donner à la mâture, aussi-tôt qu'on la réformera sur les vûës que nous avons commencé d'exposer dans la section précedente, & que nous tâcherons dans la suite de porter à une plus grande perfection. Proposons-nous un Vaisseau du premier rang, & suprimons les voiles de perroquet, en nous contentant de la basse voile, & de celle de hunier qui est au-dessus, lesquelles forment ensemble un exagone irrégulier, comme le représente la figure 46. Les deux voiles qui seront égales, mais dans une situation contraire, auront chacune en particlier environ 48 pieds de hauteur ou de chute; leur plus grande largeur CD sera de 120 pieds, & leur moindre de 96. Ces dimensions donnent à chaque voile 5184 pieds quarrés de surface; & si nous supposons que le vent est assez violent pour faire un effort de 5 livres sur chaque pied quarré de surface, l'impulsion entiere que recevra la voile de hunier ABDC, sera de 25920 livres. Mais cet effort entier ne travaille pas à rompre le mât de hune GI; il se distribuë en haut & en bas; & il n'y a que la partie qui agit en haut, qui puisse avoir part à la rupture dont il est question, puisque l'autre par

Fig. 46.

Digitized by Google

tie s'exerce ſur la vergue CD, & ne peut ſe tranſmettre qu'au mât qui eſt plus bas. Pour faire le partage de l'effort total, il n'y a qu'à le diviſer en raiſon réciproque des deux diſtances du centre de gravité K au haut & au bas de la ſurface ABDC. L'erreur qu'on commettra à cauſe de la courbure de la voile qu'on néglige, ſera toujours comme inſenſible; notre attention à éviter les diſcuſſions trop délicates de Géométrie, lorſqu'elles ne ſont pas abſolument néceſſaires, nous fera paſſer encore ſur quelques autres conſidérations, parce qu'elles ne tirent pas à conſéquence. Le centre de gravité ou d'effort K de la voile, eſt environ 23 pieds au-deſſus du point I, & 25 au-deſſous du point G; & on trouve par le partage que nous venons d'indiquer, que la partie de l'effort qui s'éxerce dans le dernier point G, eſt de 12420 livres. Or le mât de hune GI n'eſt chargé d'aucun autre effort que de celui-ci qui agit en G perpendiculairement à ſa longueur. Fig. 46.

Le conoïde qui forme le mât, doit donc avoir ſon ſommet en G, & il n'eſt plus queſtion que de déterminer la groſſeur qu'il faut lui donner, pour qu'il puiſſe réſiſter à un effort de 12420 livres apliqué à un bras de levier GI, long de 48 pieds Le mât qui eſt en état de ſoutenir cet effort, doit être capable d'en ſoutenir un 48 fois plus grand qui ſeroit apliqué à 1 pied de diſtance. C'eſt-à-dire que le mât doit avoir aſſez de groſſeur par le bas pour ſoutenir un effort de 596160 livres, qui ne ſeroit éloigné que d'un pied. On fait ordinairement toute la mâture de ſapin, à cauſe de la légereté & de la fléxibilité de ce bois, ce qui le rend très propres à réſiſter à un effort latéral; & on peut prendre pour principe qu'un bâton cylindrique de ſapin d'un pouce de diamétre, ne ſe romp que par un poids de 122 livres apliqué à un pied de diſtance. J'ai trouvé de ce bois qui ſe rompoit par un poids qui étoit ſeulement de 98 livres; ainſi il ne faut pas ſe fier à une ſeule expérience: mais ſi nous nous arrêtons au poids de 122 livres, nous conclurons que le mât doit être environ 4886 fois plus fort que les bâtons qui ont ſervi à nos

Fig. 46. épreuves : & puiſque les forces relatives ſont comme les cubes des diamétres, il n'y a qu'à extraire la racine cubique de 4886 pour ſçavoir combien le mât doit avoir de pouces de diamétre, ou doit être plus gros que le bâton. En faiſant l'opération, on trouve environ 17; ce qui montre qu'il ſuffit de donner au mât de hune un peu plus de 17 pouces de diamétre par ſon pied, pour qu'il ſoutienne l'effort d'un vent aſſez impetueux, pour faire une impreſſion de 5 livres ſur chaque pied quarré de ſurface. Il eſt vrai qu'il faut rendre ce mât beaucoup plus gros, ſupoſé qu'on doive avoir égard aux conſidérations phyſiques ſur leſquelles nous avons inſiſté dans l'article précédent. Pour que le mât puiſſe ſoutenir à 48 pieds de diſtance un effort de 12420 livres, il faut qu'il puiſſe en ſoutenir un d'environ 15669000 à 1 pied, ou qu'il ſoit environ 12860 fois plus fort que le bâton d'expérience; & il ne peut réſiſter à un ſi grand effort que lorſqu'il a un diamétre d'environ 23 pouces, comme on le voit en extrayant la racine cubique de 12860.

Si du mât de hune nous deſcendons au grand mât, nous verrons qu'il doit ſoutenir tout l'effort que fait le vent ſur le hunier, & de plus la partie de l'effort de la voile baſſe qui tombe ſur le point I. L'autre partie de l'effort de cette derniere voile n'eſt pas perduë, elle contribuë, comme la premiere, à la promptitude du ſillage; mais comme elle tranſmet ſon action au Navire même, elle ne travaille en aucune maniere à rompre la mâture. L'effort que fait le hunier entier eſt de 25920 livres, & il réſide dans le point K, qui eſt le centre de gravité de la ſurface de la voile. D'un autre côté c'eſt la plus grande partie de l'effort de la voile inférieure qui agit en I; & cet effort partial eſt de 13500 livres. Cela ſupoſé, il ſuffit de partager la diſtance IK en raiſon réciproque de 25920 & de 13500; pour avoir le centre d'effort commun L, dans lequel les deux efforts ſe réuniſſent; ce point eſt environ 8 pieds au-deſſus de I, & 56 au-deſſus de H; & c'eſt donc à cette hauteur qu'il faut conſidérer la puiſſance totale de 39420 livres qui

agit sur le mât inférieur perpendiculairement à sa longueur. Tout l'effort se réunissant ainsi dans un seul point, le mât est dans le même cas qu'un solide exposé à l'action d'une seule puissance appliquée à son sommet. Il doit avoir aussi par conséquent la forme d'un conoïde produit par la révolution d'une premiere parabole cubique, & le point L est naturellement son sommet ou la tête de son tenon. Fig. 46.

Mais puisque le mât inférieur doit être assez gros pour soutenir un effort de 39420 livres appliqué à 56 pieds de distance de son pied, il doit l'être aussi assez pour soutenir nn effort 56 fois plus grand, ou un effort de 2207520 livres qui ne seroit qu'à un pied de distance. Ainsi il doit être environ 18094 fois plus fort que le bâton d'expérience dont nous avons parlé ci-devant, qui ne soutient que 122 livres. Pour donner effectivement cette force au mât, il faut qu'il ait environ $26\frac{1}{10}$ fois plus de grosseur; car $26\frac{1}{10}$ est à peu près la racine cubique de 18094. C'est-à-dire donc que le grand mât doit avoir dans les Vaisseaux du premier rang, un peu plus de $26\frac{1}{10}$ pouces de diamétre, pour pouvoir résister à l'impulsion du vent violent que nous avons suposé.

IV.

Il est un peu plus difficile de régler la grosseur des vergues, parce que l'effort qu'elles ont à soutenir, dépend non-seulement de l'impulsion du vent, mais aussi du plus ou du moins de force que les Marins employent pour tendre les voiles. Suposé que ITH (Fig. 47.) représente la courbure de la voile inférieure depuis le haut jusqu'en bas, & GVI la courbure de la supérieure; il est évident que la voile inférieure transmettra son action aux deux points I & & H, selon la direction même qu'elle a dans ces deux points, ou selon ses tangentes IL & HL. Ainsi son effort absolu qui est représenté par OL, se décomposera dans les deux partiaux ML & NL; & par-là même raison l'effort total SP, que fait le vent sur toute l'étenduë de la voile supérieure GVI, se décomposera dans les deux partiaux Fig. 47.

Digitized by Google

Fig. 47. RP & QP qui s'exerceront selon les deux tangentes GP & IP. La premiere RP de ces deux dernieres forces tend à rompre le mât de hune, en agissant sur son sommet, selon GP; cependant comme elle agit obliquement, elle se décompose encore : une de ses parties s'épuise en tirant le mât de haut en bas selon sa longueur, & l'autre qui agit perpendiculairement, est à peu près la moitié de SP, & c'est elle que nous avons déja considerée & que nous avons trouvée, en divisant l'effort total SP réciproquement aux deux distances du centre de gravité de la voile à son sommet & à sa base. Mais la force même RP agit perpendiculairement contre la vergue supérieure, & on peut remarquer qu'à mesure qu'on tend la voile davantage, l'angle en P que forment les deux tangentes GP & IP, se trouve plus ouvert, & que les forces résultantes RP & QP deviennent plus grandes par raport à l'effort primitif SP. Les forces RP & QP deviendroient même infinies, si on pouvoit tendre assez la voile, pour que toute sa courbure GVI disparût; & alors l'effort RP romperoit infailliblement la vergue, quelque grosseur qu'elle eût.

Il est donc à propos de ne pas trop tendre les voiles, & il paroît qu'on doit se contenter que l'effort RP soit égal à l'effort SP; ce qui arrive à peu près lorsque l'angle formé par les deux tangentes en P, sera d'environ 120 degrez, ou que la voile fera en haut & en bas en G & en I avec le mât, des angles d'environ 30 degrez. Alors l'effort RP sera de 25920 livres; mais il suffit que la vergue puisse en soutenir seulement la moitié 12960 livres : car pendant qu'une moitié, comme GBDI de la voile ABDG (Fig. 46) travaille à rompre la vergue au milieu en G, l'autre moitié AGIC ne fait qu'entretenir l'équilibre, ou que maintenir la vergue dans la même situation, à peu près de la même maniere que le mur dans lequel est scellé l'extrémité d'une piéce de bois, sert à rendre fixe cette extrémité, pendant que le poids qu'on met à l'autre bout, cause la rupture. En un mot, ce n'est qu'un effort de 12960 livres, qui travaille à rompre la vergue supérieure en G, & cet effort est

apliqué en M au milieu de GB à 24 pieds de distance. Or ce seroit la même chose si cet effort étoit 24 fois plus grand, ou de 311040 livres, & qu'il ne fût apliqué qu'à un pied de distance. Ainsi la vergue supérieure doit être environ 2600 fois plus forte que le bâton d'un pouce de diamétre, qui soutient 122 livres; & il suit de-là qu'elle doit avoir dans son milieu environ $13\frac{4}{5}$ pouces de diamétre.

La vergue du milieu aura à peu près le même effort à soutenir: car de l'effort ML (Fig. 47.) que fait la voile inférieure sur le point I, selon la tangente IL, & de l'effort QP que fait la voile supérieure sur le même point selon la tangente IP, il doit résulter un effort composé, ou commun, qui s'exercera horisontalement, & qui sera à peu près égal à chacun des deux premiers. C'est-à-dire que la vergue intermédiaire aura aussi un effort de 12960 livres à soutenir, comme la supérieure; & cependant elle doit être plus grosse, parce que cet effort est apliqué à une plus grande distance. Cet effort s'éxerce dans le point N (Fig. 46.) qui est à 30 pieds du point I, puisque la vergue entiere a 120 pieds de longueur; & comme il agit de la même maniere qu'un autre effort qui seroit 30 fois plus grand, ou qui étant de 388800 livres, seroit apliqué à un pied de distance; il s'ensuit que la vergue intermédiaire doit être environ 3186 fois plus forte que le bâton de sapin qui nous a toujours servi de terme de comparaison, & qu'elle doit avoir par conséquent environ $14\frac{1}{10}$ pouces de diamétre en son milieu. Au surplus, on ne doit pas s'étonner si nous donnons beaucoup moins de grosseur à nos mâts & à nos vergues qu'on ne l'a fait jusqu'à présent. Nos voiles n'ont pas moins d'étenduë ni moins de force absoluë pour faire singler le Navire, que les voiles ordinaires: mais comme elles ont beaucoup moins de hauteur, elles doivent avoir moins de moment ou de force relative pour produire les mauvais effets.

Fig. 47.

V.

Fig. 47. Lorsque les Navires seront parfaitement semblables, & qu'on observera les régles de mâture que nous avons établies dans la Section précédente *, il ne sera pas nécessaire de recommencer les calculs pour déterminer la grosseur de la mâture de chaque Vaisseau. La force relative qu'ont les voiles pour faire rompre leurs mâts, est à peu près la même que celle qu'elles ont pour faire incliner le Navire; & cette seconde force étant en équilibre avec celle qu'a le Vaisseau pour se soutenir, laquelle est proportionelle au quarré quarré de sa longueur; il s'ensuit que dans les Navires dont la mâture est également bien disposée, la force relative qu'ont les voiles pour faire rompre les mâts, est comme le quarré quarré de la longueur du Navire: ainsi pour que les mâts soutiennent cette effort, il faut que les cubes de leur diamétre soient comme les quarrés quarrés des longueurs des Vaisseaux; & que par conséquent leurs diamétres soient comme les racines cubiques des quarrés quarrés de ces longueurs, ou qu'ils soient comme les mêmes longueurs élevées à la puissance qui a $\frac{4}{3}$ pour exposant.

* Chap. VI.

Cela suposé, il n'y aura qu'à faire par les logarithmes l'analogie suivante, pour trouver la grosseur des mâts de tous les Navires qui seront semblables aux Vaisseaux du premier rang, dont nous venons d'examiner les dimensions de la mâture. On mettra au premier terme les $\frac{4}{3}$ du logarithme de la longueur du Vaisseau du premier rang; au second terme le logarithme du diamétre de ses mâts; au troisiéme terme les $\frac{4}{3}$ du logarithme de la longueur des autres Navires dont il sera question; & on aura au quatriéme terme le logarithme du diamétre de leur mât. Le Vaisseau du premier rang a 172 pieds de long, & son mât de hune doit avoir 17 pouces de diamétre: si on veut donc avoir le diamétre du mât de hune pour un Navire semblable qui n'a que 150 pieds de long, on aura cette proportion Arithmétique: 2.7944105|1.2304489||2.7201141| 1.1561525;

1.1561525 ; & le quatriéme terme qui répond à environ $14 \frac{3}{10}$, aprendra qu'il faut donner $14 \frac{3}{10}$ pouces de diamétre au mât de hune dans le vaiſſeau dont il s'agit. Au lieu de comparer les groſſeurs des mâts aux dimenſions des Navires, on peut les comparer immédiatement aux longueurs même des mâts. Les quarrés des hauteurs de la mâture ſont comme les cubes des longueurs des Navires. Or il ſuit de-là que les longueurs des mâts élevées à la puiſſance $\frac{8}{9}$, ſont comme les longueurs des Navires élevées à laiſſance $\frac{4}{3}$; & qu'elles ſont donc comme les diamétres des mâts. Fig. 47.

On trouvera auſſi à peu près de la même maniere, & dans les mêmes circonſtances, les groſſeurs des vergues: on reconnoîtra aiſément que leurs diamétres ſont ſenſiblement comme les racines ſixiémes des ſeptiémes puiſſances des longueurs des Vaiſſeaux. Nous avons vû dans le Chapitre que nous venons de citer, que les quarrés des hauteurs des mâts ſont comme les cubes des longueurs des Navires: d'où il ſuit que les hauteurs de la mâture ſont comme les racines quarrées des cubes des longueurs des Navires, ou comme ces longueurs élevées à la puiſſance dont $\frac{3}{2}$ eſt l'expoſant. Si on multiplie donc les hauteurs par les largeurs des voiles qui ſont en même raport que les largeurs ou les longueurs du Navire, on aura l'étenduë des voiles en même raiſon que les longueurs des Navires élevées à la puiſſance $\frac{5}{2}$; & ſi on multiplie cette étenduë encore par la largeur pour avoir le moment ou la force relative qui tend à rompre la vergue, on aura ce moment en même raiſon que les longueurs du Navire élevées à la puiſſance $\frac{7}{2}$. Ainſi les réſiſtances relatives des vergues, ou ce qui revient au même, les cubes de leurs diamétres doivent être comme les longueurs des Navires élevées à la puiſſance dont $\frac{7}{2}$ eſt l'expoſant : & par conſéquent les diamétres mêmes des vergues ſont comme les longueurs élevées à la puiſſance $\frac{7}{6}$. Il ſuit de-là qu'on peut faire cette analogie ou proportion arithmétique : mettre au premier terme les $\frac{7}{6}$ du logarithme de la longueur du

Digitized by Google

Fig. 47. Vaiſſeau du premier rang; au ſecond terme le logarithme du diamétre de ſes vergues; au troiſiéme terme les $\frac{7}{6}$ du logarithme de la longueur de tout autre Navire propoſé, & qu'on aura au quatriéme le logarithme du diamétre des vergues de ce dernier Navire. Comme on peut mettre dans la proportion précédente les longueurs des vergues à la place des longueurs des Navires, puiſqu'elles ſont en même raport; il s'enſuit que les diamétres des vergues ſont comme les puiſſances $\frac{7}{6}$ de leurs longueurs dans les Navires de differentes grandeurs.

CHAPITRE VI.

De la réſiſtance des Cordages, & de la maniere de les rendre plus forts.

IL ne nous reſte plus qu'à examiner la force abſoluë des cordages, ou la force dont ils ſont capables, lorſqu'on les tire ſelon le ſens de leur longueur. Il ſemble que lorſqu'il ſont formés de chanvre de la même qualité, leur force doit être proportionelle à leur groſſeur abſoluë, ou à l'étenduë de leur coupe faite perpendiculairement à leur longueur, puiſque cette étenduë répond à la quantité de matiére qu'ils contiennent. Si un cordage a trois fois plus de circonference, l'étenduë de ſa coupe ſera 9 fois plus grande; il ſera formé de 9 fois plus de parties qui réſiſteront; & il devroit avoir par conſéquent 9 fois plus de force. Mais la difficulté de bien filer les cordages, fait que les gros ne réſiſtent pas autant qu'ils le devroient ſelon cette régle, & il s'en faut même beaucoup. *En cablant* un cordage, pluſieurs des fils ſe rompent ou s'alterent extrémement; pluſieurs outre cela ſe trouvent lâches, pendant que d'autres ſont très-tendus & déja chargés d'un grand effort par la torſion; & il arrive que ces derniers ont à ſoutenir tout le fardeau auquel on expoſe le corda-

Digitized by Google

ge, avant que les autres agissent en rien. Les premiers fils doivent donc se rompre, si l'effort qu'ils suportent, est trop grand; & les seconds fils chargés à leur tour, céderont aussi : au lieu que si tous avoient résisté ensemble, ils eussent pû, en s'aidant mutuellement les uns les autres, montrer une force beaucoup plus grande. Ce défaut doit avoir principalement lieu dans les plus gros cordages & dans les cables. Car outre qu'on n'apporte pas toujours le même soin en faisant les gros cordages, qu'une corde menuë dans laquelle l'ouvrier sçait qu'on reconnoîtroit plus aisément sa négligence, la torsion qui est plus grande, altere un plus grand nombre de fils : de sorte qu'il s'en trouve toujours davantage, ou qui sont trop tendus, ou qui ne le sont pas assez; ou qui sont déja rompus.

Chaque fil simple ou chaque brin de chanvre est capable d'un grand effort à proportion de sa grosseur; il est beaucoup plus fort qu'un égal fil de lin. C'est ce qu'il est facile d'expérimenter, & ce que l'expérience a déja appris d'avance par l'usage des differentes toiles. Mais si avec plusieurs brins on fait une ficelle, il ne faut plus compter sur la seule force absoluë de chaque brin; car comme ils ne sont pas assez longs, & qu'ils sont simplement engagés les uns avec les autres par la maniere dont ils sont filés, la ficelle pourroit se rompre, sans que chaque brin en particulier se cassât. C'est pourquoi l'âpreté de chaque fil simple qui contribuë à l'empêcher de glisser entre les autres, aide beaucoup à la force du tout, & le chanvre a encore de ce côté un grand avantage sur le lin. Il en a aussi à peu près par la même raison sur *la pite*, une espéce d'aloés, dont on fait des cordages dans plusieurs endroits de l'Amérique. La pite a de longues feüilles fort épaisses qui se terminent en pointe, & on tire, en subdivisant cette feüille selon sa longueur, & celle de ses fibres, des fils simples qui sont assez longs & assez forts; mais faute d'être souples, ils ne se joignent jamais bien ensemble, & ne forment pas un corps assez serré. Ainsi on

voit que plusieurs circonstances sont nécessaires, pour qu'une matiére soit propre à faire de bons cordages; il faut que chaque de ses parties ou de ses brins ait beaucoup de force, qu'en même tems ils soient souples, & qu'outre cela leur surface ne soit pas polie ou lice, mais qu'elle soit rude. On peut encore ajouter une quatriéme condition qui aide beaucoup aux autres, & qui peut même y suppléer, aux moins aux dernieres: c'est que les fils simples soient fort longs. Cette quatriéme condition dispense, lorsqu'on file le cordage, de le trop tourner, ce qu'on a été obligé de faire, lorsqu'on a voulu, par exemple, se servir de coton. La longueur des fils est cause qu'ils se trouvent suffisamment engagés les uns & les autres par la moindre torsion; & chaque fil ayant ensuite moins souffert d'altération, & étant outre cela moins oblique par raport à la longueur de la corde, tout le cordage doit résister beaucoup davantage.

Il est facile de voir que si on pouvoit engager les fils les uns avec les autres sans les tordre, les cordages seroient beaucoup plus forts. Indépendamment de l'effort dont sont déja chargés les fils tordus, leur obliquité par raport à la longueur de la corde, doit seule en diminuer la force d'un tiers: puisque c'est l'usage en France, comme nous l'avons déja dit, & apparemment que ce sera à peu près la même chose ailleurs, de tourner les gros cordages jusqu'à ce que leur longueur soit réduite aux deux tiers. Nos cables ont 120 brasses de longueur ou 600 pieds; & pour les faire, on se sert de fils qui ont 180 brasses ou 900 pieds. Or si AB (Fig. 48.) est un de ces premiers fils qu'on nomme *fil de carret*, & qu'il ait par raport à la longueur des cordages qu'il contribuë à former, la situation qu'a AB par raport à BC ou à AD, la force selon sa propre longueur AB, se décomposera & en fournira une moindre selon la direction BC ou DA du cordage, dans le même raport que AB est plus grand que BC ou DA; c'est-à-dire dans le raport de 3 à 2. D'un autre côté la force absoluë *des fils de carret* est très-variable; il s'en

Fig. 48.

trouve qui sont deux fois plus foibles les uns que les autres, quoiqu'on se soit proposé de les rendre égaux, & de leur donner à peu près la même grosseur (environ une ligne & demie de circonference.) J'en ai vû qui soutenoient jusqu'à 120 livres, & d'autres qui se rompoient, lorsqu'on les chargeoit seulement de 50; indépendamment de ce qu'ils sont toujours plus foibles, lorsqu'ils sont plus longs, parce qu'ils ont plus d'endroits défectueux. Il est de cette sorte extrémement difficile d'estimer leur force moyenne: cependant je crois qu'on peut la mettre à 80 livres; & il faut donc en rabatre un tiers, puisque cette force de 80 livres ne peut s'exercer que selon la propre longueur du fil, & non pas selon celle du cable qui est fort differente, & selon laquelle, comme nous venons de le voir, il n'y a que les deux tiers de la force totale qui agisse. Ainsi on ne doit guéres évaluer qu'à 53 ou 54 livres, l'effort que peut soutenir chaque fil de carret dans le cable ou le cordage qu'il forme. Fig. 48.

Ces fils peuvent être plus ou moins gros dans differentes Corderies; mais aussi-tôt qu'on a compté une fois combien il en entre dans un cordage d'une certaine grosseur, après qu'on aura expérimenté leur force, on pourra sçavoir à peu près la force totale du cordage, & juger de celle de tous les autres. Il n'importe ensuite que quelques autres cordages soient faits avec du fil de carret plus ou moins gros; car si ce fil est, par exemple, plus gros, il sera plus fort; mais il en entrera moins dans le cordage qui est d'une circonference déterminée, & la force totale sera toujours sensiblement la même, pourvû que le chanvre soit de la même qualité. J'ai ajouté qu'on ne sçaura qu'à peu près la force totale, cette restriction est nécessaire: car il peut arriver qu'il n'y ait que les trois quarts, ou les quatre cinquiémes du nombre des fils qui soutiennent le premier effort, les autres n'étant pas assez tendus; & dans ce cas le cordage n'auroit que les trois quarts ou les quatre cinquiémes de la force qu'il devroit avoir. On peut malgré tout cela prendre pour régle pour

Digitized by Google

Fig. 48. les cordages qu'on fait ordinairement en France, que le nombre des tonneaux qu'ils peuvent ſoutenir ſans riſque, eſt exprimé par le quart du quarré de leur groſſeur en pouces. Si un cordage a 10 pouces de groſſeur, c'eſt-à-dire de circonference, le quarré ſera 100, dont le quart 25 marque que le cordage peut ſoutenir au moins 25 tonneaux ou 50000 livres, ſans qu'on ait à craindre qu'il ſe rompe. Par la même raiſon un cordage de 8 pouces de circonference doit ſoutenir 16 tonneaux ou 32000 livres: un cable de 24 pouces de groſſeur doit porter 144 tonneaux ou 288000 livres.

Au lieu de tourner ou de *cabler* les fils, comme on le fait toujours pour former les cordes, il vaudroit quelquefois mieux, ainſi que l'a propoſé M. de Muſſchenbroek, en faire des faiſſeaux, qu'on lieroit fortement par dehors par d'autres fils mis en ſpirales; & avec ces faiſſeaux on en formeroit d'autres plus gros. Il n'y a point de doute que chaque fil étant enſuite ſitué parallelement à l'axe de la corde, & n'ayant outre cela été ſujet à aucune torſion conſidérable, ne réſiſtât beaucoup davantage. Nous n'oſerions cependant aſſurer que cette maniére de former les cordages, fût bonne pour les manœuvres courantes, qui paſſent continuellement dans des poulies, & qui ſont expoſées à des frotemens qui feroient rompre en peu de jours, les fils extérieurs. Peut-être ſeroit-il plus à propos de ſe ſervir pour ces manœuvres d'un autre expédient que nous offre le même Auteur, d'entrelacer les fils les uns dans les autres, à peu près comme ils le ſont dans les *garcettes*, ou dans les treſſes rondes; mais il n'y auroit, à ce que je crois, aucun inconvénient à former des faiſſeaux, les étais, les haubans & toutes les autres manœuvres *dormantes*. L'avantage qu'on y trouveroit, ſeroit très-conſidérable: car il réſulte des expériences de M. de Muſſchenbroek qu'on pourroit enſuite donner beaucoup moins de groſſeur abſoluë aux cordages, ou y faire entrer moins de chanvre, ce qui les rendroit en même tems moins peſants & moins chers. M. du Hamel a trouvé la même choſe, comme

on le verra dans un excellent Traité qu'il nous prépare Fig. 48.
ſur la Corderie. Lorſque ce Traité ſera public, la petite régle que nous venons de donner, ne ſera plus d'uſage : il faudra en former quelqu'autre ſur le même modele.

Après tout, ſoit qu'on adopte cette propoſition, ou qu'on ſuive l'ancienne pratique, il eſt toujours eſſentiel de prendre de grandes précautions pour faire enſorte que les fils de carret qui ſervent comme d'élemens aux cordes, ſoient tendus également. Cette condition me paroît auſſi néceſſaire dans le cordage fait en faiſſeau ou en treſſe, que dans l'autre, & je perſiſte à croire que c'eſt principalement par le défaut de cette attention, qu'il s'en manque ſi conſidérablement que les gros cordages ne ſoient auſſi forts à proportion que les petits; ou que les forces ne ſuivent le raport des quarrés des groſſeurs ou des circonferences. Il ſeroit cependant facile de remedier, ſi on le vouloit, à ce défaut. Au lieu d'attacher les fils ou les premieres cordes qui doivent former les plus groſſes, à cette eſpece de traîneau qu s'approche à meſure que le cordage ſe racourcit, pendant qu'on le *cable*; ne pourroit-on pas faire paſſer ces fils par-deſſus des poulies, & les charger tous par leurs extrémités d'un poids égal, & qui ne fût pas trop grand? Ayant tous le même degré de tenſion, ils ſe joindroient dans cet état. On pourroit auſſi prendre quelque précaution équivalente, lorſqu'on joint enſemble ces cordes qu'on nomme torrons, & qu'on en forme de plus gros cordages.

CHAPITRE VII.

De la force que doivent avoir differentes manœuvres.

I.

AUSSI-TÔT qu'on réussira à rendre les cordages parfaits, ils ne pourront guere manquer d'avoir des forces proportionelles au quarré de leur circonference ; & il arrivera ensuite qu'on aura bien réglé dans la Marine la grosseur de la plûpart des manœuvres. Lorsqu'un Vaisseau est deux fois plus long, deux fois plus large, &c. on donne deux fois plus de grosseur à ses manœuvres ; c'est la seule régle qu'on a suivi jusqu'à présent pour proportionner tout, parce qu'elle s'est présentée la premiere, comme la plus simple ; & elle s'est trouvée bonne dans la plûpart des circonstances. Nous avons vû ci-devant qu'on donne toujours de circonference au plus gros cable la quarante-huitiéme partie de la largeur du Navire. Ainsi la force du cable qui est comme le quarré de sa circonference, a toujours un raport constant avec le quarré de la largeur ou de la longueur du Navire ; elle est toujours proportionelle à la surface de la carène, & elle est donc aussi toujours en état de soutenir le Vaisseau contre les chocs qu'il reçoit, lesquels sont proportionels à cette même surface. Dans le Navire deux fois plus long, la surface de sa carène est quatre fois plus grande, & il reçoit donc, lorsque la Mer est également agitée, quatre fois plus d'impulsion de la part des vagues ; mais le cable ayant deux fois plus de circonference, sera aussi quatre fois plus fort, précisément comme il doit l'être.

Si le cable étoit destiné à arrêter le Navire lorsqu'il single à toutes voiles, & qu'il a déja acquis son plus grand mouvement, ce ne seroit plus la même chose ; le cable seroit

seroit trop foible pour les grands Vaisseaux. Car un Navire deux fois plus long, ayant huit fois plus de solidité, & son mouvement étant proportionel à sa masse, parce que la vitesse est suposée la même, il a huit fois plus de force pour continuer à se mouvoir; pendant que le cable qui n'auroit seulement que quatre fois plus de force, ne seroit donc pas capable de le retenir. Mais le cable n'est pas destiné à cet usage: Le Navire est actuellement en repos; la Mer est seulement agitée, pendant que le vent frape avec violence sur les manœuvres & sur les *œuvres mortes*. Or ces efforts sont simplement plus ou moins grands, tout le reste étant égal, selon que la surface du Navire est plus ou moins grande; & la force du cable est exactement proportionelle à cette surface.

C'est la même chose des haubans, des cales-haubans, des écoutes, des bras & de la plûpart des autres manœuvres. Les haubans soutiennent principalement les mâts contre l'effort du vent, & cet effort est proportionel à la surface des voiles, à laquelle est aussi proportionelle la force des haubans. Il ne faut pas compter ici la hauteur du centre d'effort des voiles, qui est cause que l'effort agit, comme s'il étoit apliqué à un bras de levier plus long, pour rompre les mâts: car les haubans agissent aussi de la même maniere; ils sont appliqués plus ou moins avantageusement, selon que le Navire est plus ou moins grand, puisqu'ils sont arrêtés sur le bord qui est à differentes distances du pied du mât, selon les diverses grandeurs du Navire.

Mais il faut remarquer qu'on n'est dispensé d'avoir égard au bras de levier auquel l'effort est apliqué, que lorsqu'il s'agit de comparer les manœuvres d'un Vaisseau à celles d'un autre, & que les deux dispositions de la mâture sont semblables. S'il étoit question de juger de la force absoluë ou de l'effet des haubans, il faudroit, comme il est évident, considérer non-seulement les forces en elles-mêmes, mais aussi la maniere dont elles sont situées. Pour reconnoître si ces cordages ont effectivement assez de force,

nous établirons notre calcul sur les dimensions des Vaisseaux du troisiéme rang que nous suposerons mâtés selon les régles vulgaires. Les trois voiles du grand mât, la grande voile, le grand hunier & le grand perroquet, ont environ 7000 pieds quarrés de surface, & si chaque pied est sujet à un effort de 6 livres, ce qui ne peut arriver que lorsque le vent a trop de violence, pour que les Marins se hasardent à porter leurs voiles hautes, l'impulsion totale sera de 42000 livres, & elle s'exercera sur une direction qui sera environ 60 pieds au-dessus de l'endroit du mât auprès du pont, où il est le plus sujet à se rompre, & qui sert d'hypomoclion. C'est ce qu'on peut sçavoir aussi exactement qu'on voudra, en cherchant le centre de gravité de la surface des voiles; mais nous nous arrêterons à 60 pieds. D'un autre côté les haubans qui sont *frapés* à la tête du grand mât, & qui viennent se rendre au bord du Navire, peuvent être éloignés du pied du mât, en mesurant la distance perpendiculairement, & en prenant la distance moyenne, d'environ 20 pieds. Ainsi ils sont apliqués à un bras de levier moins long; & il faut donc les rendre capables d'une plus grande force à proportion, conformément à cette analogie; 20 pieds sont à 60, comme 42000 livres sont à 126000 livres, pour l'effort absolu qu'ont à soutenir les haubans. Or chaque hauban du grand mât dans les Vaisseaux du troisiéme rang, a 7 pouces à peu près de circonference, ce qui les doit rendre capables, pour le moins, d'un effort de 12 $\frac{1}{4}$ tonneaux, ou de 24500, & comme il y en a huit de chaque côté, ils peuvent soutenir ensemble 196000 livres. On voit donc clairement qu'ils sont plus qu'en état de soutenir la mâture, quand même il n'y auroit point d'autres manœuvres qui contribuassent au même effet, & que le mât n'eût d'ailleurs aucune force pour résister latéralement.

II.

Mais lorsque la grosseur ou la circonference des manœuvres, n'a pas dû être proportionelle aux dimensions

Digitized by Google

ſimples des Navires, les Marins ne pouvoient pas manquer de s'y tromper; & c'eſt ce qui eſt arrivé au ſujet des étays, & de tous les cordages deſtinés à ſoutenir quelques poids. On ſe ſouvient que les étays, comme KL (Fig. 37.), ſervent dans le tangage ou dans les balancemens du Vaiſſeau, qui ſe font dans le ſens de ſa longueur, à obliger les mâts à prendre toute la rapidité du mouvement avec lequel la prouë ſe précipite quelquesfois dans l'eau. Il ſuit de-là que l'étay doit avoir une force non pas proportionelle au quarré des dimenſions ſimples des Navires, mais à leur quarré quarré. Car la réſiſtance abſoluë que font les mâts, les vergues, &c. à recevoir le mouvement qu'ils doivent prendre, dépend de leur ſolidité ou de leur maſſe, & de la viteſſe qu'ils reçoivent dans chaque point, laquelle eſt à peu près proportionelle à leur hauteur. Ainſi cette réſiſtance abſoluë eſt comme la ſolidité des mâts multipliée par leur hauteur, ou comme les quarrés quarrés des dimenſions ſimples du Navire; & puiſque la force des étays doit y être égale, les quarrés des groſſeurs de ces manœuvres doivent être comme les quarrés quarrés des dimenſions ſimples du Vaiſſeau, ou ce qui revient au même, les circonferences des étays doivent être comme les quarrés de ces mêmes dimenſions. On voit par-là que nos Manœuvriers ſe ſont extrémement trompés dans cette rencontre; puiſque dans un Navire deux fois plus long, ils ſe contentent de donner aux étays deux fois plus de circonference, au lieu qu'ils en devroient donner quatre fois plus. Dans un Vaiſſeau du troiſiéme rang, le grand étay a 13 pouces de groſſeur, le maître bau étant long de 39 pieds : ſi on veut chercher à proportion la groſſeur que doit avoir cette manœuvre dans un Vaiſſeau du premier rang, qui a 48 pieds de bau, il n'y a qu'à faire cette analogie; le quarré 1521 du bau du premier Navire, eſt à la groſſeur 13 pouces de ſon étay, comme le quarré 2304 du bau du ſecond eſt à un peu plus de 19 pouces pour la groſſeur de ſon étay; au lieu que ſelon les régles ordinaires, on ne lui en donne que 16. On ne peut pas aſſurer qu'il

Fig. 37.

ſoit abſolument néceſſaire de rendre ces manœuvres ſi groſſes dans les Vaiſſeaux du premier rang : mais alors ce ſeroit une marque qu'elles ont trop de groſſeur dans les Vaiſſeaux du troiſiéme.

Fig. 37. Enfin, ſi on ſe détermine à ne pas rendre les dimenſions de la mâture proportionelles à celles du Vaiſſeau, il ne faudra plus que la force des étays, ou que le quarré de leur groſſeur ſoit proportionel à la ſolidité de la mâture multipliée par la hauteur, mais à cette ſolidité multipliée par le quarré de la hauteur, & diviſée par la longueur de la perpendiculaire TV, abaiſſée du pied T du mât ſur l'étay KL. La difficulté que fait la mâture à prendre du mouvement, eſt toujours comme la ſolidité de cette mâture multipliée par ſa hauteur; mais il faut encore multiplier ce produit par la hauteur pour en avoir le moment ou la force relative. car la même réſiſtance fait relativement plus ou moins d'effet, ſelon qu'elle eſt apliquée plus ou moins haut. Or ce moment doit être égal à celui de la force de l'étay, qui eſt le produit de cette force multipliée par la diſtance TV de ſa direction au pied du mât qui ſert d'hypomoclion. Ainſi la force abſoluë de l'étay doit être égale, ou plutôt proportionelle à la ſolidité de la mâture multipliée par le quarré de ſa hauteur, & le produit diviſé par la perpendiculaire TV. Dans les cas où la mâture eſt proportionelle aux autres parties du Vaiſſeau, il y a un raport conſtant entre la perpendiculaire TV & la hauteur du mât. C'eſt pourquoi on peut négliger une fois la hauteur de la mâture d'un côté, & de l'autre la perpendiculaire TV; & dans ce cas particulier la force de l'étay, ou le quarré de ſa groſſeur, eſt ſimplement proportionel à la ſolidité de la mâture multipliée par ſa hauteur, ou au quarré quarré de cette même hauteur.

Fin du premier Livre.

TRAITÉ DU NAVIRE, DE SA CONSTRUCTION, ET DE SES MOUVEMENS.

LIVRE SECOND.

Du Vaisseau considéré à flot, mais lorsqu'il ne single pas.

Tranquillis primùm trepidus se credidit undis.
Claud.

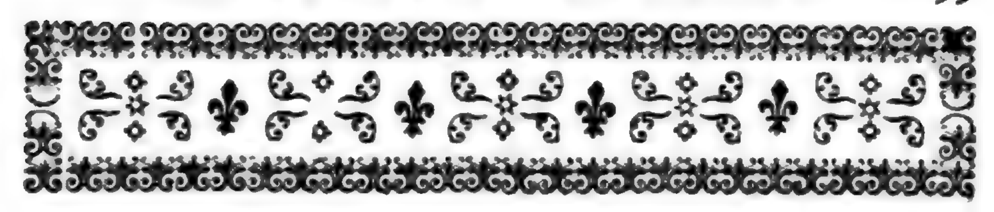
SOIT qu'on se propose de former un projet de Vaisseau sur les Maximes que nous venons d'expliquer dans le premier Livre, ou qu'il s'agisse d'en examiner un déja formé, il est évident qu'on doit d'abord, pour ne rien abandonner au hazard, s'assurer si le Navire ne sera pas trop pesant, & n'enfoncera dans l'eau que jusqu'à l'endroit

Digitized by Google

convenable, lorsqu'il sera chargé de sa mâture, de ses agréils, & muni de toutes les autres choses nécessaires. Nous ne pouvons pas nous dispenser de nous occuper de cette considération, & de commencer par elle; puisque le Vaisseau couleroit à fond dans le Port même, si l'on manquoit de l'observer. Il est vrai que n'augmentant la charge que peu à peu, & qu'autant qu'on le peut faire sans risque, on n'a guere dans l'usage ordinaire ce fâcheux accident à craindre, quoiqu'il soit quelquefois arrivé: mais outre que c'est un grand défaut qu'un Navire destiné à transporter un grand poids, ne porte pas tout ce qu'il eût été capable de recevoir, s'il eût été mieux construit; l'inconvénient est infiniment considérable dans les Vaisseaux de guerre, qui malgré les frais immenses qu'ils ont coûté, sont condamnés à ne servir que de triste spectacle dans le Port, s'ils ne joignent pas à l'avantage de se bien comporter en Mer, celui de pouvoir être armés d'une forte artillerie.

Mais ce n'est pas assez que la pesanteur de tout ce qui entre dans le Navire, soit proportionnée à sa grandeur & à l'usage auquel il est destiné, il faut encore que cette pesanteur soit distribuée d'une maniere particuliere, & que le point dans lequel on peut suposer qu'elle se réunit, ne soit pas trop élevé. Ainsi il nous faudra examiner aussi cette distribution avec soin: il faudra rechercher les conditions du bon *arrimage* *; non-seulement afin que le Vaisseau se soutienne d'une façon stable, mais afin que les balancemens *du roulis* ausquels il est toujours sujet en mer, n'apportent aucun préjudice à sa Navigation.

* C'est l'arrangement de la charge. Ce mot est tiré de l'Espagnol.



PREMIERE SECTION.

De la pesanteur du Vaisseau, & de la force qu'a l'eau pour le soutenir.

CHAPITRE PREMIER.

De la force qu'a l'eau pour soutenir le Navire en le poussant en haut selon une direction exactement verticale.

I.

LE Principe d'Hydrostatique qui doit servir de régle dans toute cette matiere, & qu'on doit avoir continuellement présent à l'esprit, c'est qu'un corps qui flote sur une liqueur, est poussé en haut avec une force égale au poids de l'eau, ou de la liqueur dont il occupe la place. Si un Navire pese 400000 ou 500000 livres, il enfonce jusqu'à ce qu'il occupe la place de 400000 ou 500000 livres d'eau : supofé qu'on le rende plus pesant, il enfonce encore davantage; mais il ne le fait toujours que jusqu'à ce que le volume de toute l'eau qui a été obligée de se retirer, pese précisément autant que lui. Dans tous ces cas il est poussé verticalement en haut par la liqueur : il est poussé avec autant de force qu'il tend à descendre ; & la parfaite égalité qu'il y a entre ces deux puissances qui agissent l'une contre l'autre en sens contraire, fait qu'elles se

trouvent continuellement en équilibre. Sans cette force qu'a l'eau, de même que toutes les autres liqueurs pour pousser en haut, & que nous nommerons ici, comme nous l'avons déja fait ailleurs, *leur poussée verticale*, tous les corps qui flotent sur une liqueur, tomberoient à fond. C'est aussi cette force ou cette *poussée* qu'on éprouve sensiblement, lorsqu'on tâche de plonger dans l'eau quelque corps leger qui est d'un grand volume. Plus on enfonce le corps, plus on éprouve de résistance; parce qu'on souleve une plus grande quantité d'eau, dont on doit ressentir tout le poids.

Fig. 49. Pour rendre ceci plus sensible, nous supposerons que ABCD (Fig. 49.) est la surface d'une liqueur, & qu'on réussisse par quelque moyen que ce soit, à en ôter un certain volume, en laissant vuide l'espace BCH. Il est clair qu'il ne suffit pas, pour empêcher la liqueur de revenir remplir ce vuide dans l'instant, de mettre un corps qui occupe exactement la même place. Il faut encore que ce corps ait de la pesanteur, pour pouvoir produire par son poids le même effet que le volume de liqueur ôtée; mais cela ne suffit point encore : si le volume ôté pese deux ou trois cent livres, il est non-seulement nécessaire que le solide pese exactement autant; il faut outre cela que sa pesanteur s'exerce précisément sur la même direction. Il n'importe ensuite que le solide EBHC ait une partie BEC qui sorte de l'eau; pourvû que le poids du tout ne soit pas plus grand, & que son centre de gravité soit exactement dans la même verticale que le point G où étoit celui de la liqueur : car l'action sera toujours précisément la même. Mais puisque le solide BHCE se soutient sur la liqueur dans les conditions marquées, malgré la pesanteur qui travaille continuellement à le faire *couler à fond*, il faut que la liqueur agisse sans cesse de bas en haut avec une force contraire; & que cette force ou cette poussée ait pour direction la verticale du centre de gravité G de l'espace BCH.

Cette

Digitized by Google

I I.

Cette maniere de considérer la chose, fait au moins voir *à posteriori*, que toutes les liqueurs ont une force réelle pour pousser en haut les corps qu'elles supportent; mais on ne voit peut-être pas encore comment se forme cette action, ni comment un effort apliqué à la surface de la partie submergée du corps flotant, & qui semble s'y terminer, ait pour centre de réunion, non pas le centre de gravité de cette surface, mais celui de l'espace même qu'elle environne; quelque irrégulier qu'il soit. Comment se peut-il faire en effet que l'action de la liqueur aille saisir précisément ce point au dedans du corps, & s'y placer? Nous ne pouvons pas éclaircir cette difficulté, sans descendre dans un plus grand détail, ni sans examiner l'effort de la liqueur sur chaque partie extérieure du corps flotant.

Si l'on conçoit une partie F*f* comprise entre deux plans horisontaux KFIL, & *kfil* infiniment près l'un de l'autre, toute la portion de liqueur renfermée entre ces deux plans, aussi-bien celle qui est proche du corps solide, que celle qui en est éloignée, & qui est exposée à l'action immédiate de la pesanteur de la liqueur supérieure, sera également comprimée. Car toutes les liqueurs ont cette propriété qui les caracterise, qu'il suffit de les presser dans un certain sens, pour qu'elles travaillent à s'étendre dans tous les autres; & cela jusqu'à ce qu'elles soient également comprimées par tout. Ainsi ce ne sont pas les seules parties comme M, qui sont chargées du poids de toutes celles qui sont au-dessus, qui se trouvent très-pressées; ce sont également les parties les plus retirées; ce sont celles qui sont proches de F, quoiqu'elles semblent être comme à l'abri de la pression. Elles ont à soutenir l'effort latéral de la liqueur située en M, laquelle pressée de haut en bas, fait un égal effort pour s'étendre horisontalement à droit & à gauche. Mais ces parties de liqueur qui sont proche de F, & qui sont ainsi comprimées, tendent à ava- Fig. 49.

Digitized by Google

cer dans tous les sens, & doivent, en s'appuyant contre la petite surface Ff du corps flotant, la pousser avec la même force que si cette surface étoit située horisontalement, & chargée du poids de toute la liqueur contenuë dans la hauteur AM.

Ce doit être la même chose de toutes les autres parties de la surface du corps solide : la pression à laquelle elles sont sujettes, ne dépend que de leur étenduë, & de la quantité dont elles sont plus ou moins enfoncées dans la liqueur, sans que leur situation verticale ou inclinée apporte aucune difference à la pression. Pour le dire en un mot, chaque partie Ff, ou Ii, est poussée avec une force
Fig. 49. égale à la pesanteur d'une colomne de liqueur qui auroit AM pour hauteur, & pour base la partie même Ff ou Ii placée horisontalement. Mais ces pressions absoluës, qui ont pour directions les perpendiculaires aux petites surfaces Ff & Ii, se décomposent; car les petites surfaces Ff & Ii ne peuvent pas être poussées selon les lignes FO & IQ, sans l'être dans le sens vertical & dans l'horisontal. Suposé que FO & IQ représentent les impulsions absoluës, & qu'on forme les rectangles VFXO & IYQZ par des côtez horisontaux & verticaux, on aura FV pour l'impulsion relative verticale à laquelle est exposée la particule Ff de la surface du corps flotant, & FX pour l'impulsion relative horisontale, pendant que IY & IZ représentent les forces relatives, verticale & horisontale, avec lesquelles sera poussée la petite partie Ii. Et ce qui est très-remarquable, c'est que les pressions relatives horisontales FX & IZ que souffrent les deux parties correspondantes ou opposées Ff & Ii, sont toujours parfaitement égales. Elles sont en effet plus petites que les pressions absoluës dans le raport qu'il faut pour cela; elles sont plus petites, l'une dans le même raport que FX est plus petite que FO, ou que fR est plus petite que fF, à cause de la ressemblance des deux triangles rectangles FXO & fRF ; & l'autre dans le raport que iP qui est egale à fR, est plus petite que Ii : ce qui doit rendre ces forces relatives égales ;

aussi-tôt que les absoluës sont l'une à l'autre comme *f*F est à *i*I. Car chacune de ces forces relatives est égale à la pesanteur d'une colomne de liqueur qui auroit toujours AM pour hauteur, mais seulement *i*P ou *f*R pour base. Il suit de-là que le corps flotant ne doit avancer ni d'un côté ni de l'autre, puisque toutes les pressions relatives horisontales que souffre chaque côté, doivent suspendre exactement l'effet des pressions horisontales que souffre le côté opposé. Fig. 49.

A l'égard des pressions relatives verticales, ou des autres parties des forces absoluës qui agissent de bas en haut, elles ne peuvent pas se détruire, puisqu'elles ne sont pas opposées : elles s'aident au contraire pour soutenir ensemble le corps. Il est facile de voir que ces forces relatives sont moindres que les forces totales ou absoluës, dont elles dérivent dans le raport de FR à F*f*, ou de IP à I*i*. Ainsi une petite surface F*f* qui est poussée par la liqueur dans le sens qui lui est perpendiculaire, avec une force égale à la pesanteur d'une colomne, dont AM seroit la hauteur, & F*f* la base, ne doit être poussée dans le sens exactement vertical qu'avec une partie de cette force qui sera égale à la pesanteur de la colomne, dont AM sera également la hauteur, mais qui n'aura que FR pour base; c'est-à-dire que la petite surface F*f* est poussée verticalement en haut avec une force précisément égale à la pesanteur qu'auroit une colomne de liqueur, dont SR marqueroit les dimensions. Ce sera la même chose de I*i* & de toutes les autres parties de la surface; & enfin pour avoir la poussée verticale qu'elles souffrent toutes, il n'y aura toujours qu'à supposer une colomne de liqueur au-dessus, jusqu'à la superficie AD, & la poussée sera égale à la pesanteur qu'auroit cette colomne. Or il suit de-là 1°. que tout le solide est poussé en haut avec une force égale à la pesanteur de toutes ces colomnes; ou ce qui revient au même, qu'il est poussé en haut avec une force égale au poids de tout le volume de liqueur BHC, dont il occupe la place. Il suit 2°. que cette force ou cette poussée de la

Fig. 49. liqueur s'exerce sur la verticale qui passe par le centre de gravité G de la partie submergée BHC suposée homogène. Car aussi-tôt que la poussée verticale que souffre chaque partie Ff de la surface du corps solide, peut se comparer à la pesanteur de la colomne de liqueur correspondante, la direction composée de toutes les poussées particulieres, doit être la même que la direction composée de toutes les pesanteurs des colomnes ; sans qu'il importe que les actions de ces deux differentes puissances, se fassent en sens contraires.

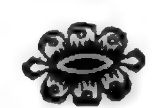
III.

L'action des liqueurs étant ainsi établie, il seroit facile d'en expliquer tous les divers effets : Mais pour nous renfermer dans notre sujet, nous remarquerons seulement qu'il suffit d'examiner les dimensions de la carène d'un Navire, pour se mettre en état de résoudre deux problêmes importans ; l'un de déterminer la pesanteur totale que doit avoir le Vaisseau ; l'autre de sçavoir en quel endroit de sa longueur doit être situé son centre de gravité. Bornons-nous d'abord à la premiere question. Il est évident que si en prenant toutes les dimensions de la carène, on en cherche la solidité, on sçaura le volume de l'eau dont le Navire occupe la place, & qui est de même pesanteur que lui. Or comme le poids d'un pied cubique d'eau de Mer, quoiqu'un peu variable, est toujours assez connu, & qu'il est à très-peu près de 72 livres, il n'y aura qu'à multiplier par 72 les pieds cubiques de la solidité de la carène, & on aura la pesanteur du volume d'eau dont il s'agit, & par conséquent celle du Vaisseau qui est la même. Ordinairement on n'exprime pas cette pesanteur en livres, mais en tonneaux, qui est, comme nous en avons déja averti, le poids de 2000 livres ; ce qui rend l'opération plus simple, parce que 28 pieds cubiques d'eau de Mer, pesant à peu près 2000 livres, il n'y a qu'à diviser la solidité de la carène par 28, pour découvrir tout d'un coup les tonneaux d'eau de Mer qu'elle occupe, & en même tems les ton-

Digitized by Google

neaux que doit peser le Navire. Si, par exemple, la carène est de 10000 pieds cubiques, on trouvera en multipliant 10000 par 72 livres, & en divisant par 2000, que le Navire doit peser 720000 livres ou 360 tonneaux; & il vient aussi à peu près ce dernier nombre, lorsqu'on divise immédiatement 1000 par 28.

C'est non-seulement la pesanteur du Vaisseau entierement armé qu'on peut découvrir de cette sorte; c'est aussi sa pesanteur dans tous les autres états. Lorsqu'on le lance à l'eau, & que sans mâture son corps même n'est pas encore achevé, qu'il lui manque *tous ses hauts*, il n'enfonce que peu dans la Mer: mais il n'y a qu'à mesurer la solidité de la partie plongée; & par la pesanteur qu'aura un égal volume d'eau de Mer, on sçaura la pesanteur du corps du Vaisseau. Qu'on acheve ensuite de le construire: qu'on le mâte, & qu'il ne lui manque plus que son lest ou que sa charge, il enfoncera davantage, sans cependant parvenir encore à ce terme où nous l'avons supposé d'abord. Mais la solidité de la partie submergée de sa carène indiquera sa pesanteur dans tous les differens cas, & en sera toujours pour ainsi dire *l'exposant*. Il est clair aussi que la partie de la carène qui sera hors de l'eau, & qui est destinée à y entrer, sera en même tems *l'exposant* du reste de la charge, ou du poids qu'on pourra encore ajouter à la pesanteur actuelle: supposé que cette partie soit de 5000 pieds cubiques, il faudra un poids de 360000 livres, ou de 180 tonneaux pour la faire enfoncer dans l'eau, & on pourra par conséquent charger encore le Vaisseau de tout ce poids.



CHAPITRE II.

Trouver la force avec laquelle l'eau pousse le Navire en haut.

NOUS n'avons maintenant besoin pour faire usage des principes que nous venons d'expliquer, que d'une méthode simple & réglée de mesurer la solidité de la carène & de toutes ses parties; soit en prenant les dimensions même du Vaisseau, lorsqu'il est déja construit; soit en prenant simplement ses mesures sur un plan qui le représente. Il seroit à souhaiter qu'on pût le regarder comme un corps géométrique d'une certaine figure déterminée: il suffiroit de prendre ses principales dimensions, & on concluroit ensuite tout d'un coup sa solidité.

I.

Premiere Méthode de mesurer la solidité de la carène en la considerant comme un ellipsoïde.

C'est l'ellipse conique ou ordinaire, qui de toutes les lignes courbes, entre le plus souvent dans la construction des Vaisseaux; & si l'on peut attribuer généralement à la carène une certaine figure; c'est celle de l'ellipsoïde; c'est-à-dire celle du corps dont toutes les tranches horisontales sont elliptiques, de même que les verticales. Cet ellipsoïde deviendroit un sphéroïde, si la profondeur de la carène étoit la moitié de sa plus grande largeur, ou que les coupes faites perpendiculairement à la quille, au lieu d'être des ellipses, fussent exactement des cercles: car alors la carène seroit formée par la demi-révolution d'une ellipse autour de son grand axe. Dans ce cas particulier, aussi-bien que dans le général, la solidité de la carène se-

roit à la ſolidité du parallelipipede rectangle qui lui eſt circonſcrit à très-peu près comme 11 eſt à 21, puiſqu'on démontre en Géométrie, que ces ſolides ſont l'un à l'autre, comme la circonference d'un cercle eſt à ſix fois ſon diamétre, & que ce dernier raport eſt exprimé à très-peu près par 11 & 21. Après qu'on auroit donc meſuré les trois principales dimenſions de la carène, ou de la partie ſubmergée du Navire, ſa longueur, ſa plus grande largeur & ſa profondeur, & en avoir cherché le produit, il ne reſteroit plus qu'a en prendre les $\frac{11}{21}$; ce qui rendroit toute l'opération extrémement ſimple, ſi elle pouvoit avoir lieu dans tous les cas.

Supoſé que la plus grande longueur de la carène fût de 140 pieds, ſa plus grande largeur dans l'endroit où elle ſort de l'eau de 40 pieds, & ſa profondeur de 18; le ſolide circonſcrit formé de ces trois dimenſions, ſeroit de 100800 pieds cubiques, & ſi on en prenoit les $\frac{11}{21}$, ou qu'après avoir multiplié ces 100800 pieds cubiques par 11, on diviſât le produit par 21, il viendroit 52800 pieds cubiques pour la ſolidité de la carène. Cette ſolidité diviſée enſuite par 28, parce que 28 pieds cubiques d'eau marine peſent un tonneau, donneroit 1889 tonneaux pour la force totale avec laquelle la Mer pouſſe la carène en haut; & par conſéquent pour la peſanteur totale qu'il faudroit qu'eût le Navire, y compris ſon propre poids, ſa mâture, ſes agrêils, ſes munitions, ſa charge, &c.

Mais nous ne devons pas diſſimuler qu'on ne peut pas ainſi comparer généralement la carène des Vaiſſeaux à des ellipſoïdes ou à des ſpheroïdes, de quelque maniere qu'ils ſoient formés. La ſurface d'une ellipſe eſt à peu près les $\frac{11}{14}$ du rectangle qui lui eſt circonſcrit, mais dans les Navires ordinaires les coupes horiſontales de la carène faites vers le haut, en ſont pour le moins les $\frac{6}{7}$ ou les $\frac{12}{14}$. Il eſt vrai qu'il ſe fait preſque toujours enſuite une eſpece de compenſation, parce que les coupes faites plus bas ſont beaucoup plus petites à proportion : d'où il peut arriver que la carène entiere au lieu d'être les $\frac{11}{21}$ du parallelipipede cir-

conſcrit, n'en ſoit que la moitié & même une moindre partie. C'eſt ce qui arrivera principalement, lorſqu'on rendra les liſſes preſque droites, comme l'exige la promptitude du ſillage, ainſi que nous l'avons déja dit dans le Livre précédent & que nous le montrerons dans le ſuivant; la carène ſera alors à peine les $\frac{11}{20}$ du ſolide circonſcrit. Mais vû l'état où eſt actuellement l'Architecture navale, on ne peut établir aucune régle générale ſur toutes ces choſes. Il eſt très-ordinaire que deux Vaiſſeaux ayent exactement la même longueur, la même largeur & la même profondeur, & que cependant ils ayent des ſolidités différentes d'une cinquiéme ou d'une ſixiéme partie. Ainſi il faut abſolument dans cette rencontre renoncer aux méthodes purement Géométriques qui ne ſont applicables qu'aux corps d'une forme toujours déterminée, & non pas à la carène des Navires qui eſt le plus ſouvent comme formée au hazard. C'eſt pourquoi on ne peut réuſſir à en déterminer la ſolidité qu'en la diviſant en pluſieurs parties, ou qu'en la diſcutant par la meſure d'un très-grand nombre de dimenſions.

II.

Seconde méthode de meſurer la Carène en la diviſant en pluſieurs priſmes.

Tout l'art qu'on peût employer dans cette nouvelle opération, conſiſte à ſe ſervir de meſures qu'on puiſſe prendre avec facilité, & à faire auſſi enſorte que les diverſes parties dans leſquelles on partagera la carène, ou tout autre corps dont il s'agira de connoître la ſolidité, ſoient des figures de même eſpece & qui ayent en même tems le plus de dimenſions égales qu'il ſera poſſible. Il n'y aura, par exemple, qu'à partager la carène par des plans horiſontaux qui ſoient à une égale diſtance les unes des autres, & imaginer enſuite des plans verticaux perpendiculaires à la longueur du Navire, qui ſoient tous auſſi également éloignés les uns des autres; & de cette ſorte la carène ſera diviſée

Digitized by Google

visée en plusieurs prismes quadrangulaires ou de même grosseur, couchés dans le sens de la largeur & dont les deux extrémités seront terminées presque toujours obliquement par les deux flancs. Puisque tous ces prismes seront précisement de même grosseur à cause de l'égalité d'intervale qu'on met entre tous les plans tant horisontaux que verticaux, il est clair qu'on pourra les considerer, comme s'ils n'en formoient qu'un seul, & qu'il n'y aura qu'à multiplier le rectangle qui leur sert de grosseur, par la somme de toutes leurs longueurs, pour avoir tout d'un coup leur solidité totale. Si les plans horisontaux sont élevés les uns au-dessus des autres de trois pieds, & les plans verticaux perpendiculaires à la quille, éloignés les uns des autres de dix, les rectangles qui representeront la grosseur de tous les prismes seront de 30 pieds quarrés. Ainsi la solidité de la carène sera le produit de ces 30 pieds par la somme de toutes les diverses largeurs du Vaisseau qui servent de longueur aux prismes. Plus la courbure des deux flancs du Vaisseau sera grande, plus il sera nécessaire de pousser loin la division, en augmentant le nombre des plans tant horisontaux que verticaux. La seule régle qu'il y aura à observer en cela, ce sera de rendre les parties de la surface de la carène assez petites, pour qu'elles soient sensiblement planes. Cependant je crois qu'il suffira presque toujours de partager la carène en trois ou quatre tranches horisontales de même épaisseur, & de la subdiviser ensuite par 8 ou 10 plans verticaux; de sorte qu'on ne sera gueres obligé pour avoir la longueur de tous les prismes & pour avoir ensuite leur solidité, que de mesurer la largeur du Navire en trente ou en quarante endroits. Lorsqu'il s'agira des plus grands Vaisseaux, on pourra diviser leur carène en cinq ou six tranches horisontales.

On a déja vû la maniere de mesurer les largeurs sur un Plan, mais il n'y aura gueres plus de difficulté à les prendre sur le Vaisseau même, lorsqu'il sera construit & qu'il sera à sec dans un bassin. Il n'y aura qu'à mettre sur le Navire une piece de bois en travers ou perpendiculairement

à ſa longueur, dont les deux extrémités ſortent de chaque côté ; on y ſuſpendra deux fils à plomb, dont on meſurera d'abord la diſtance, & on verra enſuite combien il s'en faut en chaque endroit que le Navire ne ſoit auſſi large que les deux fils à plomb ſont éloignés l'un de l'autre. On trouvera de cette ſorte la largeur du Vaiſſeau en haut dans l'endroit où il eſt le plus gros : On prendra en même tems les autres largeurs dans les autres points plus bas, en laiſſant les fils à plomb dans la même ſituation ; & on tranſportera enſuite ces mêmes fils vers l'avant & vers l'arriere toujours à des diſtances égales, pour réiterer la même opération, & avoir les largeurs du Navire dans tous les autres plans verticaux. Ces largeurs ſeront, je le repete, les longueurs des priſmes dans leſquels on a diviſé la carène. On fera attention d'un autre côté que pour obtenir la ſolidité de chacun de ces priſmes, il faut multiplier l'étendue de la coupe faite perpendiculairement à ſa longueur, par ſa longueur moyenne même, qui eſt égale au quart de la ſomme de ſes quatre côtés. Ainſi pour avoir la ſolidité de tous les priſmes enſemble, il faudroit multiplier l'étendue du rectangle qui repréſente leur groſſeur par le quart de la ſomme de toutes les largeurs meſurées de la carène ; ſi ce n'eſt que la plus grande partie de ces largeurs ſervent de côtés à 4 priſmes ; d'où il ſuit que le quart doit être repeté quatre fois, ou ce qui revient au même, que ces largeurs doivent être employées toutes entieres. Telles ſont toutes celles qu'on peut nommer intérieures, parce qu'elles ſont priſes au-dedans du ſolide : d'autres qui ſont extérieures, parce qu'elles ſe trouvent dans les plans extrêmes ou qui terminent le corps, ſervent de côtés à deux priſmes ; ainſi leur quart doit être ſimplement repeté deux fois. Enfin il y a quatre largeurs qui ſont à l'extrémité des plans extrêmes, leſquelles ne ſervent de côtés chacune qu'à un ſeul priſme, & par conſéquent leur quart ne doit être employé qu'une ſeule fois dans la ſomme qu'il faut multiplier par la groſſeur des priſmes.

On verra tout ceci plus clairement ſi on jette les yeux

sur la Figure 50, qui represente un Vaisseau projetté sur le plan vertical qui le coupe par la moitié dans le sens de sa longueur ou de la quille. Sa carène ou la partie qui doit enfoncer dans la Mer est partagée en quatre tranches horisontales, & elle est ensuite divisée par sept plans verticaux FB, GG, GG, &c. perpendiculaires à sa longueur. Je n'ai que faire d'avertir que les petits rectangles marqués dans la figure & qui sont tous égaux, sont les grosseurs des prismes qui résultent de la division de la carène, & qui ont pour longueurs ou pour côtés les largeurs du Navire mesurées vis-à-vis de tous les points H, G, &c. Or pour trouver la solidité de tous ces prismes à la fois ou du corps entier EFBC qu'ils forment ensemble, il n'y a qu'à multiplier, conformement à ce que nous venons de dire, l'étendue d'un seul rectangle HHHH par la somme qu'on fera des largeurs entieres qui seront mesurées vis-à-vis de tous les points H, de la moitié de chacune des largeurs mesurées vis-à-vis des points G, & du quart des quatre qui seront prises vis à-vis des points E, F, B & C. L'opération s'expedira de cette sorte avec une extréme promptitude par une seule multiplication pour la solidité de tous les prismes ou de tout le corps EFBC. On voit assez maintenant la cause de la distinction que nous mettons entre les largeurs qui servent ou à quatre prismes ou à deux, ou simplement à un seul. Il restera à ajouter au corps EFBC la solidité qu'on cherchera à part des prismes irréguliers, qui se trouveront aux deux extrémités de la carène en ABF & en DCE, à la poupe & à la prouë. Comme il n'est pas possible de les joindre avec les autres pour en trouver la solidité tout d'un coup, on les réduira à d'autres prismes rectangulaires ou triangulaires qu'il sera toujours facile de mesurer à part. Fig. 50.

Digitized by Google

III.

Troisiéme méthode de mesurer la Carène, en la partageant simplement par tranches.

On pourroit faire un usage continuel de la Méthode précédente, sans qu'il est utile dans diverses occasions de ne pas connoître seulement la solidité entiere de la carène, mais aussi celle des parties que la carène plonge successivement dans l'eau, à mesure qu'on charge le Navire. Cette considération oblige de chercher séparément la solidité des tranches horisontales; ce qui rendra l'opération numerique un peu plus longue, sans que néanmoins il soit nécessaire de mesurer un plus grand nombre de dimensions.

Fig. 51. Si ANHOA (Fig. 51.) représente la coupe horisontale de la carène faite à fleur d'eau, lorsque le Navire est entierement chargé, & que toutes les largeurs ST, QR, &c. ayent été mesurées, comme il est aisé de le faire, à des distances parfaitement égales les unes aux autres; il n'y aura pour avoir l'étenduë de tous les trapezes dans lesquelles cette surface est divisée, qu'à multiplier la distance AB ou BC d'une largeur à l'autre, par la somme qu'on fera de toutes les largeurs intermédiaires QR, OP, MN, &c. & de la moitié de la premiere & de la derniere.

Suposé que toute la longueur AH de la surface soit de 120 pieds, & qu'on ait divisé cette longueur en 6 parties égales par les largeurs qu'on aura mesurées, & qu'on aura trouvées de 18 pieds en ST; de 23 en QR; de 28 en OP; de 30 en MN; de 30 en KL; de 21 en HI, & de zero en G. Faisant une somme des largeurs intermédiaires, & de la moitié des deux extrémes, on aura 141 qu'il n'y aura qu'à multiplier par la distance AB ou BC d'une largeur à l'autre, qui est de 20 pieds, & il viendra 2820 pieds quarrés pour l'étenduë requise de tous les trapezes, ou de la surface entiere AMGN, qui sera exactement la

même, si l'on a été attentif à prendre un assez grand nombre de largeurs, pour que toutes les parties GH, HK, KM de son contour soient sensiblement des lignes droites. Rien n'est plus simple que cette pratique, & il est d'ailleurs facile de la justifier. Pour trouver l'étenduë particuliere de chaque trapeze, il faut multiplier la moitié des deux largeurs qui lui servent de côtés paralleles, par sa hauteur. Mais puisque tous les trapezes ont une égale hauteur, & que d'ailleurs chaque largeur sert de côté commun à deux trapezes, il est clair que pour trouver tout d'un coup la somme de leur étenduë, il faut multiplier AB ou BC, non pas par la somme des moitiés des largeurs, mais par la somme des largeurs mêmes, excepté de la premiere & de la derniere, dont il ne faut employer que la seule moitié, parce qu'elles ne servent chacune de côté qu'à un seul trapeze.

Il est clair que ce moyen de trouver l'étenduë des coupes horisontales de la carène peut s'appliquer également à toutes les surfaces planes, en mesurant plusieurs de leurs largeurs ou ordonnées à une égale distance les unes des autres. Nous pouvons même en élevant un peu nos vûës, quoique nous ne paroissions ici occupés que de Navires, ajouter que ce moyen pourra servir dans plusieurs rencontres, pour approcher sur le champ, & avec une extrême facilité de la valeur de toutes les intégrales qui ne contiennent qu'une seule variable. On n'a qu'à considérer l'intégrale générale $Sdz \times Z$, dans laquelle Z est une fonction quelconque de z, comme représentant l'aire d'une surface plane, dont z exprime les parties de l'axe ou de la longueur, pendant que la grandeur Z, quoique complexe & de plusieurs dimensions, exprime les largeurs ou les ordonnées. Après cela il n'y aura qu'à attribuer à z un assez grand nombre de diverses valeurs qui se surpassent également; chercher pour chacune la grandeur de Z, & multiplier la somme de toutes ces grandeurs, excepté de la premiere & de la derniere, dont on ne fera entrer dans la somme que la seule moitié, par la quan-

tiré dont on a rendu plus grandes les unes que les autres, les diverses valeurs qu'on a attribuées à z. Cette Méthode que nous donnons pour ce qu'elle vaut, & que nous n'avons garde de comparer à d'autres Méthodes plus sçavantes, qui sont entre les mains des Géométres *, n'est pas bornée à la seule intégrale $SdzxZ$; on peut l'appliquer avec le même succès à toutes les autres, comme $SdzSdzZ$, qui ne contiennent toujours qu'une seule variable, ou qui en contiennent plusieurs, dont on connoît la relation.

* Voyez les petits Traités *de methodo differentiali* de Mrs Newton & Roger Cotes, &c.

Mais pour revenir à notre sujet, aussi-tôt qu'on a trouvé de la même maniere, non-seulement l'étenduë de la plus haute coupe horisontale de la carène, mais de toutes les autres qui passent par les lignes LO, KN, &c. (Fig. 50.) il suffira pour avoir la solidité de chaque tranche horisontale comprises entre deux coupes, de prendre la moitié de la somme de ces mêmes coupes, & de la multiplier par la distance verticale de l'une à l'autre, qui forme l'épaisseur de la tranche. On fera la même chose pour toutes les autres, & on les ajoutera ensuite successivement en commençant par en bas, pour avoir la solidité des diverses parties de la carène, qui s'enfoncent dans l'eau à mesure qu'on augmente le poids de la charge. Nous montrerons dans la suite que cette Méthode de trouver la solidité de chaque tranche, en multipliant son épaisseur par la moitié des deux coupes horisontales entre lesquelles elle est comprise, est aussi exacte qu'il est nécessaire dans la pratique : nous croyons même qu'elle sera applicable à la partie la plus basse de la carène ; parce que si l'erreur qu'on commet dans cette derniere mesure, est considérable, par raport au peu de grandeur de cette partie, elle devient toujours comme insensible, lorsqu'elle est répanduë sur toute la carène. Si l'on croyoit devoir au reste pousser la précision plus loin, on le pourroit faire par le moyen suivant.

Fig. 50.

Ce seroit de diviser cette partie inférieure en plusieurs troncs par des plans verticaux perpendiculaires à la quille, & également éloignés les uns des autres. Ces

plans verticaux qui sépareroient les troncs, auroient vers le milieu du Vaisseau la forme MNOP (Fig. 52.) à cause du plat OP des varangues, & elles auroient vers la prouë & vers la poupe une forme qui approcheroit de la triangulaire. On trouveroit aisément la superficie des unes & des autres, & il n'y auroit en tout cas qu'à les partager par des lignes verticales également éloignées les unes des autres, en plusieurs trapezes, dont on trouveroit l'étenduë tout-à-la fois, comme nous l'avons expliqué. Enfin la surface de tous les plans, ou de toutes les coupes verticales MNOP, étant découvertes, il ne seroit pas nécessaire de s'arrêter à chercher la solidité particuliere de chaque tronc intercepté, puisqu'on n'en a pas besoin. On trouveroit leur solidité à tous, ou ce qui revient au même, la solidité de toute la tranche inférieure de la carène dont il s'agit, en faisant une somme de l'étenduë de tous les plans verticaux intermédiaires MNOP, & de la moitié des deux extrémes qui se réduisent presque à rien, & en multipliant cette somme par la seule distance d'un plan à l'autre. Fig. 52.

I V.

De l'Echelle des solidités ou des pesanteurs des diverses parties de la Carène.

Si l'on n'a divisé la carène qu'en quatre tranches horisontales, comme il suffira ordinairement de le faire, si ce n'est que pour les plus grands Vaisseaux, on poussera la division plus loin, on n'aura, en ajoutant successivement ces tranches les unes aux autres, que la solidité des quatres parties ICBM, KCBN, LCBO & DCBA (Fig. 50.) qui se plongent successivement dans la Mer, à mesure qu'on augmente le poids du Navire. Mais il ne sera pas difficile, en suposant que les coupes horisontales qui sont entre deux autres qu'on a mesurées actuellement, sont en progression Arithmétique, de trouver la solidité de toutes les portions de la carène qu'on voudra : & on pourra Fig. 50.

Fig. 50. ensuite les marquer, si on le veut, dans le plan qui représente le Vaisseau coupé verticalement selon sa longueur, sur une échelle qu'on tracera vers son milieu en PT. Je veux dire qu'on marquera en Q, en R, en S, &c. la solidité des parties correspondantes de la carène qui sont au-dessous, ou des parties ICBM, KCBN, &c. Au lieu de marquer ces solidités en pieds cubiques, on pourra le faire, pour une plus grande commodité, en tonneaux, en attribuant 28 pieds à chaque tonneau; & alors on sçaura par la seule inspection du plan, de combien doit être la pesanteur du Vaisseau pour qu'il plonge jusqu'à chaque point Q ou R. On confond souvent ici les parties submergées de la carène, & les pesanteurs qu'a le Vaisseau dans ses differens états; parce qu'on supose que le Lecteur se souvient toujours que les parties submergées sont les *exposans* des diverses pesanteurs du Navire, égales au poids du volume d'eau que chasse la partie submergée.

Il faut remarquer qu'on ne peut pas placer cette échelle PT des pesanteurs, indistinctement par tout; parce que le poids du Vaisseau & de la charge étant le même, mais la distribution differente, la carène peut caler plus ou moins vers la prouë ou vers la poupe; au lieu que l'enfoncement est toujours sensiblement le même vers le milieu. En effet, la partie submergée doit être de même grandeur, tant que le poids total ne change pas: si une des extrémités de la carène s'enfonce davantage dans la Mer, il faut nécessairement que l'autre extrémité s'éleve en même tems; mais il est un point vers le milieu qui ne souffre aucun changement. Ce point est à très-peu près le centre de gravité de chaque coupe horisontale, comme il seroit facile de le démontrer. Ainsi l'échelle des pesanteurs, au lieu d'être une ligne droite, doit être une ligne courbe, qui vû l'état présent de la construction, doit avancer un peu vers la poupe, à mesure qu'on la prolonge en haut. Cependant comme il ne s'en faut gueres que les centres de gravité de toutes les coupes horisontales, ne soient les unes au-dessus des autres, sans doute qu'il ne résultera jamais aucune erreur de

la

la ſituation de l'échelle, quoique droite, & quoique placée verticalement ; pourvû qu'on la faſſe paſſer à peu de diſtance du centre de gravité de toute la carène.

CHAPITRE III.

Du changement que reçoit l'enfoncement de la Carène, lorſqu'on ajoute au Navire quelque partie, ou qu'on la retranche, &c.

I.

On verra par la ſuite les divers uſages qu'auront toutes les meſures qu'on vient de preſcrire : mais on inſiſtera dès-ici ſur les premiers qui ſe préſentent, & qui regardent les Navires déja conſtruits. On aura peut-être de la peine à croire qu'on fait tous les jours des changemens très-conſidérables ſur des Vaiſſeaux, comme de retrancher un pont, ou de l'ajouter, de *ſouffler* toute la carène, c'eſt-à-dire de la renfler par de nouveaux bordages ; ſans ſe mettre en peine de connoître d'avance l'effet précis qui doit en réſulter. On s'en raporte ſur cela à la pratique du Conſtructeur, qui n'en juge qu'à peu près par des changemens ſemblables qu'il a vû faire ſur d'autres Navires : pendant qu'il eſt des moyens ſurs de prononcer dans toutes ces matieres, & d'agir avec pleine connoiſſance de cauſes.

Il eſt facile, comme nous le diſons, de prononcer ſur toutes ces choſes, en les diſcutant avec un peu de ſoin. S'il s'agit, par exemple, de raſer un Vaiſſeau du premier rang, de 48 pieds de largeur, trop chargé du propre poids de ſes parties ſupérieures, on peut ſuputer la peſanteur du pont & des dunettes qu'on veut retrancher. Le calcul ne ſera ni long ni difficile ; nous entreprendrons

dans le même genre une opération beaucoup plus pénible, lorſque nous chercherons la peſanteur de toutes les parties qui forment le Vaiſſeau. On ſçait la longueur des baux & leur groſſeur, celles des courbes, l'épaiſſeur & la longueur des bordages, & la quantité de fer qui entre dans le pont: il n'en faut pas davantage pour trouver la peſanteur du tout. Cette peſanteur, ſi on ſe bornoit à ne retrancher que le pont, ſeroit d'environ 420000 livres, ou 210 tonneaux; mais ce retranchement en entraîne beaucoup d'autres. Il cauſe d'abord une diminution conſidérable dans le nombre des canons; & outre cela on ne peut gueres ſe diſpenſer de faire divers retranchemens aux dunettes. Du côté de l'Artillerie le retranchement ſera de 70 ou 80 tonneaux; mais je ſupoſe que la diminution totale eſt de 350 tonneaux: c'eſt ce dont on pourra toujours s'aſſurer. Ainſi il ne reſte plus qu'à trouver combien le retranchement de ce poids, doit faire élever le Vaiſſeau, ou le faire ſortir de la Mer.

On le ſçaura d'avance, ſi on a ſuputé, comme nous l'avons expliqué dans le Chapitre précédent, la ſolidité de toutes les parties de la carène; & ſur-tout ſi on a entre les mains un plan exact, ſur lequel *l'Echelle des peſanteurs* ſoit tracée. Il n'y aura qu'à voir combien de pouces ou de pieds d'enfoncement répondent à 350 tonneaux, ou à 9800 pieds cubiques, produit de 350 par 28. Si on n'a point de pareil plan, il n'y aura qu'à meſurer l'étenduë de la coupe horiſontale de la carène faite à fleur d'eau, & chercher combien la tranche ou le corps plat qui a cette étenduë pour baſe, doit avoir d'épaiſſeur, pour être de 9800 pieds cubiques. Supoſé que l'étenduë de la coupe horiſontale ſoit de 6900 pieds quarrés, on diviſera les 9800 pieds cubiques que doit avoir le ſolide qui ſort de l'eau par les 6900 pieds quarrés qui ſervent de baſe; & il viendra au quotient un peu moins de 1 pied 5 pouces pour la hauteur du corps plat; ce qui aprendra la quantité dont le Vaiſſeau doit s'élever de l'eau par le retranchement propoſé. Il faut remarquer qu'une élevation de 1 pied 5 pouces eſt une

quantité très-considérable, & qu'il n'en faut souvent pas tant, faisant même abstraction du changement avantageux que souffre en même tems le centre de gravité qui descend beaucoup, pour qu'un Vaisseau mal construit, qui devoit servir de triste & de perpétuel ornement dans un Port, devienne très-propre à la Navigation.

Lorsqu'on prend pour la solidité de cette tranche de la carène qui s'éleve de l'eau, le produit de l'étenduë 6900 pieds quarrés de la base, ou de la coupe faite à fleur d'eau, par son épaisseur 1 pied 5 pouces, on ne peut pas commettre d'erreur sensible. S'il est vrai que les autres coupes horisontales au-dessous sont un peu plus petites, la difference n'est jamais assez considérable pour qu'on soit tenu dans la pratique d'y avoir égard; il est toujours permis de considérer le solide dont il s'agit, comme s'il étoit cilindrique. On pourra, comme il est évident, prévoir de la même maniere l'effet que doit produire, non pas le retranchement, mais l'addition d'un nouveau pont, d'une dunette, &c.

II.

Il y aura un peu plus de peine à déterminer ce qui doit arriver lorsqu'on *souffle* le Vaisseau; & cela principalement, parce qu'il n'est pas tout-à-fait si aisé de trouver l'étenduë de la superficie convexe de la carène. Si dans l'opération *du soufflage* on s'attachoit à donner toujours à la carène une figure semblable, ou si on augmentoit toutes les dimensions proportionellement; alors presque toute la difficulté cesseroit. Les solidités de la carène dans les deux états, étant comme les cubes de quelqu'un des côtés, la difference seroit comme la difference des cubes; ainsi elle seroit toujours connuë aisément, & on sçauroit par conséquent combien la poussée verticale de l'eau auroit plus de force pour soutenir le Navire. Pour trouver cet excès presque tout d'un coup dans cette suposition, il n'y a qu'à se ressouvenir que si on augmente le côté x d'un cube x^3 d'une très-petite quantité dx, le cube se trouvera augmen-

té de $3x^2dx$, ou de trois fois le solide formé par le quarré du côté & par la petite augmentation; parce qu'on peut négliger les autres parties de l'accroissement. Mais x^3 étant à $3x^2dx$ comme x est à $3dx$, il s'ensuit qu'on peut dans le cas présent, faire cette analogie; la largeur qu'avoit d'abord la carène, est à la premiere solidité, ou à la poussée verticale de l'eau, comme le triple de la petite quantité dont on a augmenté la largeur, est à l'augmentation de la solidité, ou de la force de la poussée verticale de l'eau. Si dans le Vaisseau du premier rang dont nous avons parlé, on augmente de 6 pouces la largeur qui est de 48 pieds, & qu'on augmente la longueur & les autres dimensions à proportion, on aura cette analogie, 48 pieds sont à la force 3300 tonneaux qu'avoit d'abord la poussée de l'eau, comme $1\frac{1}{2}$ pied qui est le triple de 6 pouces, est à un peu plus de 103 tonneaux pour l'augmentation que reçoit cette force. Le Navire seroit par conséquent soulevé de cettē quantité, sans qu'il faut rabatre de ces 103 tonneaux la pesanteur même du bois qu'il faut employer pour le *souffler*. Comme cette pesanteur sera au moins de 60 tonneaux, on ne gagnera tout au plus que 43 tonneaux; & puisqu'une diminution de 350 tonneaux n'a fait soulever le Navire que de 1 pied 5 pouces, celle-ci ne le fera gueres sortir de l'eau que de 2 pouces.

III.

Mais outre qu'il est difficile que les Constructeurs s'assujettissent à conserver la même figure à la carène, il est quelquefois à propos de l'alterer. C'est ce qui nous fait croire qu'il faut absolument se résoudre à mesurer l'étenduë de sa surface convexe, qu'on multipliera par l'épaisseur *du soufflage*, pour en avoir la solidité. On mesurera la surface convexe de la carène en la partageant en plusieurs zones, dont on trouvera l'étenduë séparément. Pour mesurer chaque zone, on la considérera comme un trapeze

courbe, selon le contour qu'ont les varangues; on prendra avec une ficelle la longueur qu'ont les deux côtés du trapeze qui seront presque paralleles, & qui ne seront autre chose que le contour du Vaisseau pris dans le sens de sa largeur: la moitié de la somme sera sa longueur moyenne, & il n'y aura qu'à la multiplier par la largeur moyenne de la zone. Peut-être sera-t-il permis aussi dans cette recherche, de regarder la carène comme un corps géométrique, afin d'expédier l'opération plus aisément. On a vû qu'on ne peut pas traiter la carène comme un corps géométrique, lorsqu'il s'agit d'en trouver la solidité; mais ici le cas est different. Pour peu qu'on attribuë plus ou moins de courbure à la surface, ou à une partie de la surface qui environne un corps, on augmente ou on diminuë beaucoup la solidité; au lieu que l'étenduë de la surface ne change gueres, ou ne change peut-être pas.

La surface convexe à laquelle on peut comparer plus naturellement celle de la carène, est celle d'un sphéroïde formé par la révolution, ou plutôt par la demi-révolution d'une ellipse autour de son grand axe. La Géométrie nouvelle nous a apris que si l'on forme un quart de cercle qui ait la moitié du grand axe pour rayon, & qu'on prenne dans ce quart de cercle un segment compris entre un des rayons & un sinus parallele, égal à la moitié du petit axe du sphéroïde, il y aura même raport entre le sinus de complement qui sert de largeur au segment, & la circonference du cercle qui a pour rayon la moitié du petit axe, qu'entre l'étenduë du segment du quart de cercle, & la surface du demi-sphéroïde. Cette seule analogie exige une assez longue opération; parce qu'il faut, entr'autres choses, connoître l'étenduë du segment du quart de cercle; & il seroit à propos d'épargner cette peine aux Constructeurs, ou aux personnes attachées à l'Architecture Navale. On ne peut, ce semble, rien faire de mieux que d'entreprendre le calcul d'avance pour un certain Vaisseau; parce qu'il n'y aura plus ensuite qu'une simple proportion à

faire pour tous les autres. Si on exprime par 325 le grand axe ou la longueur de la carène, & par 100 le petit axe ou la largeur, conformément au raport qui s'obſerve le plus ordinairement, on trouvera 41641 pour la ſurface du demi-ſphéroïde ou de la carène. Il eſt vrai que le raport de 325 à 100 n'aura pas lieu dans tous les Vaiſſeaux; mais on ſauvera la plus grande partie de l'erreur qui peut naître de la difference, en comparant la ſurface 41641, non pas avec le quarré de la longueur ou de la largeur; car on ſe tromperoit extrémement toutes les fois que le ſphéroïde n'auroit pas une figure ſemblable; mais avec le rectangle 32500 des deux dimenſions l'une par l'autre. Ce leger détour ſera cauſe que lorſque les Navires auront plus ou moins de largeur par raport à leur longueur, le rectangle de ces deux dimenſions ſera plus ou moins grand; & on trouvera auſſi pour la ſuperficie de la carène des étendues differentes.

La ſurface 41641 du demi-Sphéroïde eſt au rectangle 32500 de ſes deux axes comme 128 eſt à 100. Ainſi pour appliquer cette méthode à un Navire propoſé, il n'y aura qu'à faire cette ſeule analogie; 100 eſt à 128 comme le rectangle de la longueur par la largeur, eſt à l'étenduë requiſe de la ſuperficie convexe de la carène. Il y aura encore cette précaution à obſerver, lorſque la profondeur de la carène ne ſera pas la moitié de la plus grande largeur. On prendra la moitié de cette largeur qu'on ajoutera à la profondeur, & ce ſera cette ſomme qui ſera pour ainſi dire la largeur moyenne, qu'on multiplira par la longueur, pour avoir le rectangle, dont le raport avec la ſuperficie convexe de la carène, eſt exprimé par 100 & 128.

La ſurface de la carène étant trouvée, il n'y aura plus qu'à la multiplier par l'épaiſſeur qu'on ſe propoſe de donner au *ſouſſlage*; & on ſçaura combien le Navire doit déplacer d'eau davantage, & de combien par conſéquent la pouſſée verticale de la Mer ſera plus forte. Si le ſouſflage n'eſt pas par tout également épais, on prendra ſon épaiſſeur moyenne. Enfin pour découvrir l'avantage réel,

Digitized by Google

ou ce qu'il y a effectivement à gagner, il faudra, ainsi qu'on en a déja averti, retrancher la pesanteur même du bois ajouté. Comme cette pesanteur est très-considérable, elle diminuë beaucoup de l'effet du soufflage, au moins de ce premier effet dont il s'agit maintenant. C'est ce qui oblige quelquefois de ne pas apliquer les nouveaux bordages sur les anciens, mais de les appuyer sur des tringles courbes; & c'est ce qu'on appelle *souffler sur taquets*.

Si, pour ne pas changer d'exemple, nous suposons qu'on grossisse ou qu'on enfle d'un pied chaque endroit de la carène du Vaisseau du premier rang de 48 pieds de largeur, on trouvera par l'analogie déja expliquée, que la surface de la carène sera d'environ 9592 pieds quarrés, lesquels étant multipliés par un pied, donnent 9592 pieds cubiques pour l'espace que la carène occupera de plus dans la Mer; & la poussée verticale de l'eau sera donc plus grande d'environ 342 tonneaux. Je crois que le bois nécessaire pour ce soufflage, pesera au moins 170 tonneaux; car en ne donnant aux nouveaux bordages que 3 pouces d'épaisseur, il en faudra 2398 pieds cubiques, qui peseront 47 ou 48 tonneaux, s'ils ne sont que de sapin : mais les taquets, ou les especes de membres qu'il faudra mettre au-dessous, & qui auront 9 pouces d'épaisseur, peseront au moins trois fois plus, sans compter encore le poids de tout le fer qu'il faudra employer. On s'en raporte sur cela aux Constructeurs, comme sur toutes les autres choses qui sont absolument de leur ressort. Quoiqu'il en soit, le soufflage excessif d'un pied ne soulagera tout au plus le vaisseau que de 170 tonneaux. Le Navire poussé en haut avec cette force, s'élevera ensuite d'une quantité plus ou moins grande, qui dépendra de l'étenduë de la coupe horisontale de la carène, faite à fleur d'eau : plus cette étenduë sera grande, moins il sera nécessaire, comme il est évident, que le Navire s'éleve. On a déja vû ci-devant qu'une diminution de 350 tonneaux dans le poids, faisoit que le Vaisseau sortoit de l'eau d'environ 1 pied 5 pouces; ainsi les 170 tonneaux dont le Navire est actuellement

poussé en haut avec plus de force, le feroient seulement élever d'un peu plus de 8 pouces. On doit faire attention que si nous avons suposé pour la facilité des calculs, que la pesanteur particuliere de la charge ou de lest, étoit toujours la même, rien ne nous ôte la liberté de la changer. On a gagné 8 pouces par le renflement de la carène; c'est une ressource dont on peut ensuite disposer, & avec laquelle on viendra souvent à bout de satisfaire à d'autres vûës, que ce n'est pas encore ici le lieu d'expliquer.

IV.

Il ne nous reste plus qu'à terminer ces détails de pratique par une remarque qui y tient trop naturellement, pour differer d'en parler. On pense ordinairement que le *souf-flage* rend les Vaisseaux trop pesants, & les empêche de marcher; ils sont ensuite chargés, dit-on, d'une quantité prodigieuse de bois & de fer, qui ne doit prendre du mouvement qu'avec difficulté. Il est vrai qu'en grossissant la prouë, on augmente ordinairement la résistance qu'elle trouve à fendre l'eau, & qu'on peut ralentir la vitesse du sillage, si on n'a pas le soin d'élargir un peu les voiles en même tems. Mais à l'égard de la plus grande pesanteur, on peut assurer qu'elle ne fait rien à la marche, & qu'elle n'y apporteroit pas la moindre difference, quand même on l'augmenteroit encore deux ou trois fois plus : on feroit seulement obligé de mettre ensuite moins de charge ou de lest dans la cale. Si l'on se bornoit à dire que c'est un désavantage pour un Navire de transport, que d'être déja chargé du poids de ses propres matériaux, nous ne pourrions pas nous empêcher d'en convenir. Mais qu'importe-t-il dans un Vaisseau de Guerre, ou dans une Frégate faite exprès pour la course, que la pesanteur particuliere de sa carène, ou que le poids étranger du lest qu'on ne met que pour y supléer, fasse une plus grande ou une moindre partie du poids total, qui est toujours le même ? Nous sommes donc bien éloignés d'aprouver l'usage où l'on est, d'épargner extrémement le bois dans la carène des Cor-

vettes

vettes & des Frégates, aufquelles on veut donner l'avantage de bien fingler. Sous prétexte de les rendre plus legeres, & de leur conferver peut-être leur nom *, on donne très-peu d'épaiffeur à leurs bordages; & en même tems qu'on diminuë de la groffeur de leurs membres, on en diminuë le nombre: tout cela produit une foibleffe dans l'affemblage du tout, qui ne peut pas manquer de devenir fouvent funefte. Il faut remarquer au furplus que ce qu'on dit ici, ne regarde que la partie qui entre dans l'eau: les raifons précédentes ne vont qu'à cela; & à l'égard des parties fupérieures, il faut toujours en diminuer le poids le plus qu'on peut.

* Frégates legeres.

CHAPITRE IV.

Du Jaugeage des Vaiffeaux, & premierement de celui qui fe fait en tonneaux d'Arrimage ou de volume.

I.

NOUS avons comme réfolu d'avance la queftion du du jaugeage qui eft très-importante pour le Commerce, & qui appartient auffi à notre fujet. On a répandu fur cette matiere une fi grande obfcurité, que fi on excepte le petit nombre de Géométres qui fe font trouvés du tems en tems dans la Marine, on peut affurer que perfonne n'y a attaché d'idée diftincte. On demande tous les jours de combien eft *le port* d'un Vaiffeau, ou de combien de tonneaux il eft; les Marins & les Négocians font continuellement cette queftion, pendant que les Conftructeurs & les Jaugeurs s'empreffent d'employer divers moyens pour la réfoudre: Mais il refte prefque toujours à fçavoir, auffi-bien aux uns qu'aux autres, fi le tonneau dont ils fe fervent pour exprimer la grandeur du Navire, eft un poids ou une mefure fimplement étenduë: car prefque

tous dans cette rencontre, confondent l'eſpace & la peſanteur, quoique de natures ſi differentes. On connoît en effet deux ſortes de tonneaux : Le premier, dont on a déja parlé, n'eſt autre choſe que le poids de deux mille livres, & le ſecond, qu'on nomme tonneau *d'Arrimage*, pour le diſtinguer, eſt l'eſpace qu'occupent quatre bariques, ordinairement de celles dont on ſe ſert à Bordeaux, pour mettre le vin. Quelques Navires peuvent porter autant de tonneaux *de poids* ou *de port*, c'eſt-à-dire de fois 2000 liv. qu'ils peuvent contenir dans leur cale de tonneaux *d'Arrimage*, ou contenir de fois l'eſpace de quatre bariques; d'autres, & particulierement les plus petits, portent plus de tonneaux de poids, qu'ils ne peuvent contenir de tonneaux d'arrimage: au lieu que c'eſt tout le contraire dans les grands Bâtimens, & principalement dans les Vaiſſeaux proprement dits. Cependant on ſe ſert preſque toujours des mêmes méthodes pour jauger les uns & les autres; & cela le plus ſouvent, comme on vient de le dire, ſans ſçavoir de quelle eſpece de tonneaux il s'agit.

Il ne convenoit pas à la dignité de l'Ordonnance de la Marine de 1681, qu'elle deſcendît dans un plus grand détail ſur ce ſujet. Elle s'eſt contentée d'aſſigner 42 pieds cubiques au tonneau; ce que pluſieurs perſonnes ont regardé comme un argument inconteſtable, qu'il s'agiſſoit donc principalement dans ce Problême de tonneaux d'arimage, ou qui ne ſont qu'étendus; de ſorte qu'on a prétendus que l'opération du jaugeage n'étoit qu'une pratique de pure Géométrie, ſans nulle raport à l'Hydroſtatique, ni au poids de la charge. C'étoit au Commentateur à lever la difficulté, & à diſſiper le doute; s'il n'eût pas été auſſi peu initié qu'il l'étoit, dans les matieres exactes telles que la Géométrie. L'Ordonnance veut que tout jaugeage dans lequel on ne ſe trompe que d'une quarantiéme partie, ſoit réputé bon; c'eſt-à-dire qu'une erreur d'un tonneau ſur quarante, ou de deux ſur 80, ou de $2\frac{1}{2}$ ſur 100, doit être tolerée. Rien n'eſt plus ſage que cette diſpoſition, pour arrêter le cours à une infinité de

diſputes ; & pour obliger en même tems les Jaugeurs à apporter dans leur opération une aſſez grande préciſion. Ces vûës ont échapé au Commentateur qui prétend, ce qu'on auroit de la peine à croire, que l'intention de la Loy eſt de permettre aux Jaugeurs les mépriſes mêmes, qui ſeroient, non pas de $2\frac{1}{2}$ tonneaux, mais de 40 ſur 100. Erreur monſtrueuſe, dans laquelle il n'eſt pas même poſſible de tomber, lorſqu'on a quelque uſage de la Marine, & qu'on juge de la grandeur d'un Navire par la ſeule eſtime ! Tout ce qu'on peut donc faire de mieux dans la circonſtance préſente, eſt de diſcuter la queſtion dans les deux divers ſens dont elle eſt ſuſceptible ; de la réſoudre en prenant le tonneau, ſoit pour une meſure étenduë, ſoit pour une meſure peſante. Cependant on s'attachera principalement aux moyens de trouver les Tonneaux *de poids* ou *de port*, parce qu'il n'eſt pas douteux que ce ne ſoient ceux qu'on doit le plus authoriſer dans l'uſage ordinaire. Outre que ce n'eſt pas par leur étenduë, mais par leur poids que les marchandiſes chargent un Vaiſſeau en le faiſant caler, il eſt certain qu'on en connoît bien mieux la quantité par la peſanteur que par le volume, qui ne peut preſque jamais être meſuré que groſſiérement ; à cauſe des vuides qui ſe trouvent toujours, malgré la perfection de *l'arrimage*, & auſquels on ne peut pas avoir égard.

II.

Trouver la grandeur des Vaiſſeaux en tonneaux d'Arrimage.

Auſſi-tôt qu'on prend le tonneau pour une meſure étenduë, la queſtion du jaugeage ne ſe réduit qu'à la meſure de la capacité intérieure de la cale, qui eſt deſtinée à recevoir la charge. Cette meſure ne ſera pas plus difficile que celle de la carène qu'on a déja expliquée. On diviſera la cale en pluſieurs priſmes par des plans horiſontaux & verticaux ; ou bien on ſe contentera, ſi on le veut, de la partager en pluſieurs tranches par les ſeuls plans horiſontaux. On trouvera l'aire ou l'étenduë de ces plans en

mesurant leur largeur en plusieurs endroits à une égale distance les uns des autres; & aussi-tôt qu'on aura trouvé l'étenduë de tous ces plans, il n'y aura plus, comme on l'a vû ci-devant, qu'à les ajouter deux à deux, & multiplier la moitié de leur somme par leur distance verticale, pour avoir la solidité de la tranche qu'ils interceptent; & enfin la somme de toutes les tranches donnera la capacité requise. C'est naturellement par dans le Navire qu'on doit exécuter cette espece de jaugeage; puisqu'il s'agit de connoître un espace intérieur. On peut néanmoins l'exécuter aussi par dehors en cas de besoin, en retranchant l'épaisseur toujours assez connuë des membres & des bordages qui forment les flancs de la carène.

Les Jaugeurs, au lieu de partager la cale en un très-grand nombre de parties, se contentent pour l'ordinaire de prendre un assez petit nombre de dimensions. Ceux qui en prennent le plus, mesurent en pieds & en pouces la profondeur de la cale en trois endroits, au milieu & aux deux extrémités; sçavoir au pied du mât de mizaine, & à huit ou neuf pieds de distance de l'étambot, & faisant une somme de ces trois profondeurs, ils en prennent le tiers, ce qui leur donne une profondeur moyenne ou *réduite*. Les largeurs, ils les mesurent aussi dans les mêmes endroits; mais en chaque endroit ils en prennent trois, l'une en haut au-dessous des baux, où elle est la plus grande; l'autre au milieu, & la troisiéme tout-à-fait en bas, proche la carlingue. Par le moyen de ces trois largeurs mesurées au milieu & aux deux extrémités du Navire, ils trouvent trois largeurs *réduites*, qu'ils réduisent ensuite en une seule, en les ajoutant ensemble, & en prenant le tiers, ce qu'ils peuvent faire aussi en joignant ensemble les neuf premieres largeurs, & en prenant la neuviéme partie du tout. Enfin ils multiplient, comme il est clair qu'ils le doivent faire, la derniere largeur réduite par la profondeur aussi réduite, & le produit par toute la longueur de la cale, ce qui leur donne à peu près la capacité qu'ils cherchoient

Il ne leur reste plus après cela qu'à convenir de la juste étenduë du tonneau, pour pouvoir réduire la capacité qu'on ne connoît qu'en pieds cubiques. Suposé que cette capacité soit de 10000 pieds, & que le tonneau soit déterminé à 42, comme on le prétend ordinairement, le Navire sera de 288 tonneaux: Mais comme il ne paroît pas que l'Ordonnance ait eu en vûë de rien statuer sur le jaugeage intérieur, on ne doit donner aucune préférence à cette détermination. Ce qui nous le persuade, c'est non-seulement que l'espace qu'occupent 4 bariques, & qu'on a toujours pris pour le tonneau d'Arrimage, est considérablement plus grand que 42 pieds, ce qui étoit trop facile à reconnoître, pour que les Experts consultés pussent s'y tromper; c'est encore le témoignage de tous ceux qui ont écrit avant ou depuis l'Ordonnance sur les matieres qui ont raport à ce sujet. Tous ne parlent que du tonneau de poids, ou font entendre qu'il ne s'agit que de celui-là *: de sorte que l'autre, s'il est permis de parler de la sorte, n'est connu que par une espéce de tradition orale. Dans le petit Dictonnaire même qui est à la fin de l'Ordonnance, & qui n'est pas sans doute de la main du Commentateur, on ne prend le tonneau que pour un poids: on montrera d'ailleurs le raport secret que peut avoir le volume de 42 pieds cubiques avec la pesanteur de 2000 livres. Mais que prendre donc pour le volume précis du tonneau d'Arrimage? Il faut avoüer qu'il se trouve une assez grande difficulté à lui assigner une juste étenduë. Car outre que les bariques sont de différentes grandeurs dans toutes nos Provinces Maritimes, les mémes bariques occupent plus ou moins de place selon la diverse forme des Navires, & selon aussi la commensurabilité ou l'incommensurabilité qui se trouve, entre leurs dimensions & celles de la cale. Tout cela fait que les vuides se trouvent differemment distribués, & plus ou moins grands; de sorte qu'il s'en faut assez que le nombre des bariques ou des tonneaux qui entrent dans deux differents espaces, soit proportionel à l'étenduë de ces espaces. Quelquefois quatre

* Voyez le P. Fournier Livre XVII. de son Hydrographie. Dassié Architec. Navale. Aubin Dictionnaire de la Marine. Moitret de Blainvile, Traité du Jaugeage. Savari Dictionnaire du Commerce. Robbe Traité de Navigation. Desroches Dictionnaire de la Marine, &c.

bariques n'occupent que 46 ou 47 pieds, & quelques autres fois 48 ou 50 & même 51. Or si l'on joint à la différence que cela doit apporter, les erreurs, je ne dis pas que commettent les Jaugeurs par leur méthode grossiere de mesurer la cale, mais les erreurs mêmes qui sont inévitables, on conviendra qu'il est moralement impossible de perfectionner assez cette espece de jaugeage, pour que l'erreur totale qu'on doit craindre, soit renfermée dans les limites étroites, établies par l'Ordonnance.

Puisque le tonneau d'Arrimage n'est pas assez déterminé par lui-même, & ne peut pas même l'être, il n'y a qu'une autorité supérieure, celle du Législateur, qui puisse, en méprisant les inconvéniens particuliers, le fixer à une certaine étenduë. Mais si l'on veut toujours lui conserver quelque raport avec l'espace qu'occupent quatre bariques, afin de ne pas renverser toutes les idées que les Marins se sont faites sur ce sujet, il ne faut pas se contenter de le faire de 42 pieds, il faut le faire au moins de 48 ou de 49. C'est cet espace que remplissent ordinairement quatre bariques dans les Bâtimens de transport, qui sont les plus commodes pour l'arrimage. La barique de vin de Bordeaux a 2 pieds 1 pouce de diamétre, & 2 pieds $9\frac{1}{2}$ pouces de longueur. Or 50 de ces bariques distribuées en 5 rangs l'un sur l'autre, occupent, en y comprenant les vuides, un espace de presque 606 pieds cubiques, ce qui donne au tonneau d'arrimage environ $48\frac{1}{2}$ pieds. Cette détermination n'est bonne que pour le milieu du Navire; & cela encore, lorsque la largeur & la profondeur contiennent un certain nombre de fois le diamétre de la barique; car il arrive souvent que des Bâtimens médiocres eussent portés deux cens bariques de plus, s'ils eussent eu leur profondeur seulement plus grande de deux ou trois pouces. Vers la prouë & vers la poupe, l'arrangement sera encore plus difficile; on y perdra par conséquent beaucoup plus par les vuides: & on doit même toujours se souvenir qu'il est comme impossible de rien mettre en avant du pied du mât de misaine, de même que dans un espace irrégulier vers la poupe, qui

se termine à l'étambot, & qui peut avoir 7 ou 8 pieds de long dans les Navires médiocres.

Mais après avoir tout considéré, on ne croit pas qu'il résultât aucun avantage d'une nouvelle détermination du tonneau. Si le Vaisseau doit être chargé de choses très-pesantes, comme de marbre, de fer, &c. sa charge n'occupera qu'une très-petite partie de sa cale; de sorte qu'il ne servira de rien d'en connoître alors la capacité totale. Ce n'est pas dans ce seul cas que le jaugeage intérieur devient inutile; c'est même dans le cas tout opposé, quoique plus ordinaire. Toutes les fois qu'on se propose de charger le Navire de marchandises legeres, comme de vin, d'eau-de-vie, d'huiles, &c. il faut nécessairement mettre au-dessous une certaine quantité de *lest*, c'est-à-dire un certain poids qui n'est pas réputé charge, & qui ne sert qu'à donner au Navire la force de se soutenir, à cause de la figure qu'on donne à sa carène. Or l'espace qu'occupe ce *lest*, & qui est plus ou moins grand, selon la matiere dont il est formé, & aussi selon la pesanteur spécifique des marchandises, est à retrancher de l'espace qu'on employe utilement. Ainsi on voit que l'expression de la grandeur du vaisseau en tonneaux d'arrimage, n'est non-seulement jamais bien exacte, mais qu'elle ne peut donner aussi qu'une notion peu distincte de la quantité actuelle de la charge.

III.

Maniere de régler le droit d'Ancrage, & les autres droits de même espece.

Le seul cas où il paroît qu'on puisse employer cette espéce de jaugeage, & encore avec quelque modification; c'est lorsqu'il s'agit de régler le droit d'ancrage, & tous les autres droits que payent les Navires pour la réparation & l'entretien des bassins dans lesquels ils entrent; parce que ces droits ne dépendent ni de la quantité ni de la nature des marchandises, & qu'ils sont les mêmes, lorsque le Navire est vuide, que lorsqu'il est chargé. Alors il n'est

certainement question que de l'espace que le Bâtiment occupe dans le Port, ou qu'il y embarrasse; & comme la capacité intérieure de la cale est à peu près égale à la solidité de la carène, on pourroit prendre l'une pour l'autre. Cependant je crois qu'on peut rendre la chose encore beaucoup plus simple, & moins sujette à toute contestation, en considérant que c'est principalement par en haut que le Navire occupe de la place dans le Port; & que l'embarras qu'il cause, est précisément le même, soit qu'il soit construit à plates varangues, ou qu'il ait les plus grandes façons. Ainsi sans entrer dans le détail de la figure de sa carène, ni sans examiner si elle est grande ou petite à proportion du reste, il suffiroit de considérer le parallelipipede rectangle circonscrit au Vaisseau, & de régler le droit sur ce solide. Il est nécessaire d'avoir égard à la profondeur de la carène; car selon que le Navire est plus ou moins creux, on lui assigne diverses places dans le Bassin ou dans le Port; & c'est pour cela qu'au lieu de prendre le rectangle circonscrit à la coupe horisontale faite à fleur d'eau, il faut absolument prendre le parallelipipede même.

Une seule chose seroit à observer; c'est que comme le parallelipipede circonscrit, & qui est censé occupé par le Navire, est beaucoup plus grand que la capacité intérieure de la cale, il faudroit, afin que le droit fut toujours le même, (puisqu'il n'est pas question d'en faire acquerir un nouveau à ceux qui l'ont déja,) le réduire & le rendre moindre à proportion sur chaque pied cubique. Si le droit d'ancrage est, par exemple de 5 sols par tonneau, un Navire de 250 tonneaux, doit payer 62 livres 10 sols; & si l'on cherche la solidité du parallelipipede rectangle circonscrit à un pareil Navire, & qu'on prenne le milieu de ce qui résulte des différentes fabriques ou constructions, on trouvera qu'elle est d'environ 20000 pieds cubiques. Or il ne reste plus qu'à repartir les 62 livres 10 sols à cette solidité, & on aprendra que chaque espace de 320 pieds cubiques doit payer une livre ou 20 sols.

S'il

S'il eſt queſtion après cela de déterminer le droit pour tout autre Navire, pour un, par exemple, qui ait 122 pieds de longueur de l'étrave à l'étambot, 34 pieds de plus grande largeur, & 17 de creux; le parallelipipede circonſcrit ſera de 70516 pieds cubiques, produit de 122 par 34 & 17. On pourroit même par une plus grande ſimplicité, ſe faire une loi de ſupoſer toujours que le creux eſt la moitié de la plus grande largeur ſans ſe donner la peine de le meſurer. Enfin, diviſant la ſolidité 70516 par le nombre conſtant 320, il viendra au quotient 220 livres & un peu plus de 7 ſols pour le droit d'ancrage requis. Ce qu'on vient de faire ici pour certains ports, ſe peut exécuter avec la même facilité pour tous les autres; & on pourroit aiſément former auſſi des tarifs pour tous les Navires. Si le droit eſt fixé à 1 ſ. par tonneau, au lieu de diviſer le ſolide des trois dimenſions par 320, il faudra diviſer par 1600. Si le droit eſt de 2 ſ. il faudra diviſer par 800. S'il eſt de 3 ſ. on diviſera par $533\frac{1}{3}$, & s'il eſt de 4, on diviſera par 400. Cette maniere de déterminer les droits dont il s'agit, auroit cela de particulier, outre ſes autres avantages; que comme il ne ſeroit pas poſſible de la confondre avec les vrayes méthodes de jauger, elle ne cauſeroit jamais d'équivoque. On juge aſſez que ce n'eſt qu'avec quelque ſorte de repugnance, que le Mathématicien ſe livre à des diſcuſſions telles que celle-ci, où il s'agit d'intérêts très-legers, en comparaiſon de l'objet important qui nous occupe dans ce Traité. Mais nous ne ſçaurions trop nous laiſſer entraîner par le motif de rendre nos ſciences utiles: nous croyons d'ailleurs avoir ôté la racine à une infinité de conteſtations, en donnant le moyen de regler avec équité des choſes qui n'avoient été décidées que par l'eſtime trompeuſe des Experts, ou que ſur des régles très-peu fidéles.

CHAPITRE V.

Du Jaugeage des Vaisseaux en tonneaux de poids.

I.

ON ne descendra pas dans le détail de tous les moyens qu'ont imaginé les Constructeurs & les Jaugeurs pour trouver le port des Vaisseaux en tonneaux de poids ou de 2000 livres. Peu aidés de la Géométrie, & encore moins instruits des principes d'Hydrostatique, ils ont été bien éloignés de soupçonner que la pesanteur de la charge étoit exprimée par la seule partie de la carène qui fait la différence du plus grand & du moindre enfoncement, lorsque le Navire est chargé, & lorsqu'il est vuide. Au lieu de cela ils se sont fait des méthodes particulieres, en prenant pour *exposant* de la charge, des parties qui n'y avoient aucun raport; j'ai vû de ces Constructeurs, & même de ceux qui s'étoient fait quelque réputation, qui tiroient au-dedans du Navire deux especes de diagonales, l'une du haut de l'étambot au bas de l'étrave, & l'autre du haut de l'étrave au bas de l'étambot, & qui mesurant ensuite en pieds & en pouces combien le point d'intersection de ces deux diagonales étoit élevé au-dessus de la quille, attribuoient un certain nombre de tonneaux à chaque pouce d'élevation. Ces Constructeurs aussi peu Géométres que ces Peuples de Grece dont nous parle Plutarque, qui doubloient si mal l'Autel d'Apollon, eussent pû se faire une méthode également bonne, en se réglant sur toute autre partie qu'ils eussent voulu du Vaisseau, comme sur la Statuë, par exemple, qu'on place à l'extrémité de la prouë pour servir d'ornement. Mais pour trouver leur compte par un moyen si extraordinaire, il ne suffisoit pas qu'ils employassent toujours scrupuleusement les mêmes gabaris dans leur construction, il falloit encore qu'ils n'eussent jamais

construits que des Navires à peu près de même grandeur: sans cela ils n'eussent pas pû se dispenser d'apprendre à la fin, que la solidité des corps semblables ne suit pas le raport simple de quelqu'un de leur côté, mais un raport très-différent.

Il ne faut pas tout-à-fait confondre avec ces Méthodes formées contre toutes les régles, celle qui est autorisée par un espece de Réglement, & qui se trouve depuis longtems entre les mains des Jaugeurs un peu plus instruits, quoiqu'elle soit encore très-défectueuse. Cette Méthode connuë sous le nom de *Méthode de Roüen*, ne différe pas du jaugeage intérieur dont on a déja parlé; puisqu'après avoir trouvé la capacité de la cale en pieds cubiques, on ne fait autre chose que la diviser par 42, conformément à l'Ordonnance. Il est certain que cette pratique est encore très-défectueuse; puisqu'elle employe, pour déterminer la pesanteur particuliere de la charge, une solidité qui n'y a aucun raport, la capacité entiere de la cale, qui étant à peu près égale à la carène, ou à toute la partie submergée, n'est propre qu'à donner la pesanteur totale du Vaisseau. S'il étoit question de déterminer cette derniere pesanteur, il faudroit, comme on l'a vû, diviser toute la solidité par 28: de même que la Méthode exacte & Géométrique de trouver la pesanteur particuliere de la charge, est de diviser par ce même nombre la partie du haut de la carène, qui se plonge par le seul poids des marchandises. Mais aussi-tôt qu'on veut mal-à-propos déduire le port du Vaisseau, ou la seule pesanteur de sa charge, de la solidité entiere de la carène, ou de la capacité de la cale qui lui est à peu près égale, & qui sont l'une & l'autre beaucoup trop grandes, il faut indispensablement diviser par un nombre aussi trop grand. Il faut que ce nombre soit plus grand dans le même raport, que toute la carène surpasse cette partie qui fait la différence des deux enfoncemens; ou en même raport que la pesanteur totale du Vaisseau est plus grande que celle de sa charge.

C'est de cette sorte qu'on s'est trouvé dans la nécessité

de divifer tantôt par 40 ou 42, tantôt par 56, & quelquefois par 60 ou 80; quoiqu'il foit certain que le tonneau de 2000 livres, n'a jamais befoin pour fe foutenir, que d'un enfoncement dans la Mer de 28 pieds cubiques. Le Pere Fournier raporte dans fon Hydrographie, qu'on prenoit de fon tems 56 pour divifeur; & fi l'on en croit le Pere Tofca, on fuivoit encore il y a peu d'années en Efpagne, une opération qui revenoit à la même chofe que fi l'on eût divifé par ce nombre, jufqu'à ce qu'un nouveau Réglement qui vaut encore moins, a prefcrit de divifer le folide des trois dimenfions, la plus grande largeur, la profondeur & la longueur moyenne * du Vaiffeau par 128; ce qui doit donner à peu près la même chofe que fi l'on divifoit la folidité feule de la carène par 60 ou 64. On a donc commencé par fe tromper, en voulant exprimer le poids des marchandifes par toute la carène, ou toute la capacité de la cale qui, au lieu d'être *l'expofant* de la charge, l'eft plutôt de la pefanteur totale du Navire tout compris; & il a fallu enfuite, pour réparer cette premiere faute, en commettre une feconde, en attribuant au tonneau un déplacement trop grand dans le même raport. Lorfqu'il s'eft trouvé que la charge n'étoit que la moitié de la pefanteur totale, au lieu de divifer la folidité de la carène par 28, on l'a fait par 56; ce qui a donné un quotient deux fois moindre. On a divifé par 84, lorfque la pefanteur de la charge n'étoit que le tiers de la pefanteur totale. Enfin, l'Ordonnance de 1681 a voulu qu'on prît toujours 42 pour divifeur, fur l'avis des Experts, qui avoient examiné principalement des Navires de tranfport, dans lefquels la pefanteur de la charge étoit à peu près les deux tiers de la pefanteur totale; pendant que leur pefanteur particuliere formoit l'autre tiers.

* La longueur moyenne dont il s'agit, tient le milieu entre toute la longueur du Vaiffeau, & la longueur de fa quille.

II.

Mais s'il eft quelquefois vrai que la pefanteur particuliere du Navire foit effectivement le tiers de la pefanteur qu'il a avec fa charge, il eft certain qu'on ne peut pas en

Digitized by Google

faire une régle générale. Il s'en faut d'abord extrémement que cette régle soit applicable aux Vaisseaux de Guerre; parce qu'ils sont déja comme chargés par le poids de leur artillerie & de leurs munitions; ce qui oblige de leur donner ensuite beaucoup moins de charge à proportion, & peut-être la moitié moins : de sorte qu'au lieu de diviser par 42, il faudroit le faire par 60 ou 80, & peut-être par 100. Dans les Navires mêmes Marchands, il se trouve tous les jours qu'à cause de leur fabrique plus ou moins pesante, & de la diversité de leurs apparaux, l'un pese un tiers ou un quart plus que l'autre, quoiqu'ils soient destinés à avoir une égale pesanteur totale, parce que leur carène ou la partie qu'ils doivent plonger dans la Mer, est exactement de même solidité. Il arrive encore à peu près la même chose aux mêmes Navires considérés en différens états : car on fait quelquefois de très-grands changemens dans leurs hauts, ou dans ce qu'on apelle leurs *œuvres mortes :* On leur ajoute un pont, ou on le retranche; on donne du canon à un Navire qui n'en avoit pas. Or tous ces changemens qui ne doivent aporter aucune altération au poids total du Navire, puisque la carène est toujours la même, doivent se manifester ensuite sur la pesanteur de la charge qui doit être plus ou moins grande, précisément de la même quantité. Malheureusement la méthode ordinaire de jauger est trop infléxible, pour entrer dans ces sortes de considérations, & elle sera toujours incapable de sentir toutes ces différences. Enfin, pour le dire encore une fois, lorsqu'on mesure la solidité entiere de la carène, & qu'on se borne à cette seule mesure, on est bien en état de découvrir la pesanteur totale du Vaisseau qui lui est proportionelle; mais il n'est jamais possible d'en déduire la pesanteur particuliere de la charge, puisqu'on ne sçait pas le raport qu'elle a avec l'autre, & que ce raport est très-variable.

On n'avance rien ici qui ne se trouve parfaitement conforme à l'expérience. Les Gabares dont on se sert au Croisic pour transporter les sels d'un endroit du Port à

l'autre, n'ont point de pont, & n'ont qu'un seul mât qu'on arbore, ou qu'on abaisse selon les occasions : je mesurai avec soin la capacité de la cale d'une de ces gabares nommée la *Mariane*, que je trouvai de 615 pieds cubiques, & divisant cette solidité par 42, il me vint 14 $\frac{27}{42}$ tonneaux par son port. Cependant il est bien certain qu'elle pouvoit porter davantage : c'est ce que je sçu non-seulement par la mesure exacte de la partie qui enfonçoit dans l'eau par la pesanteur de la charge; mais aussi par la quantité de sel que cette gabare portoit effectivement. Pour obtenir plus exactement la solidité de la partie qui se plongeoit par le poids de la charge; je mesurai sa largeur en 47 endroits, & je trouvai que cette solidité étoit de 500 pieds cubiques 981 pouces, ce qui donne pour la véritable pesanteur de la charge 36040 liv. ou 18 tonneaux 40 liv. Ainsi la méthode ordinaire de jauger rendoit le port trop petit d'environ une cinquiéme partie du tout.

Une Flute Hollandoise nommée *le Cordonnier*, qui se trouva au Croisic dans le même tems, avoit presque toutes ses largeurs égales, & la moyenne étoit de 19 pieds 0 pouce 9 lignes : sa profondeur réduite étoit de 9 pieds 5 $\frac{3}{4}$ pouces, & sa longueur mésurée depuis le mât de misaine jusqu'à 8 pieds de l'étambot, étoit de 67 pieds. Le produit de ces trois dimensions donne à peu près 12107 pieds cubiques, & divisant cette solidité par 42, il vient 288 $\frac{11}{42}$ tonneaux pour le port de cette Flute, & on pouvoit le suposer encore plus grand; parce que rien n'empêchoit de prendre 70 ou même 75 pieds pour sa longueur, au lieu de 67. Cependant je m'assurai en mesurant avec un extréme soin, & par très-petites portions, la partie de la carène qui faisoit la différence des deux enfoncemens, que cette Flute ne pouvoit pas porter un si grand poids. Cette partie de la carène qui est *l'exposant* de la charge, n'étoit que de 7063 pieds cubiques 1526 pouces, lesquels n'indiquent que 254 tonneaux 599 livres. Mais d'où vient que la méthode vulgaie de jau ger, qui rendoit le port de la gabare trop petit, rendoit en même

tems celui de la Flute trop grand ? La raiſon en eſt bien évidente. La gabare étoit très-legere, & ne peſoit pas le tiers de la peſanteur totale qu'elle avoit avec ſa charge ; d'où il ſuit que la charge devoit être plus grande que les deux tiers de la peſateur totale, & plus grande par conſéquent que ne la ſupoſoit la méthode ordinaire de jauger. La Flute au contraire étoit beaucoup plus peſante à proportion, à cauſe de ſes ponts & de ſa mâture ; & ſa peſanteur particuliere étant plus grande que le tiers de la peſanteur totale, la charge devoit être moindre que les $\frac{2}{3}$. C'eſt pourquoi la méthode ordinaire qui ſupoſe abſolument & ſans diſtinction, que la charge eſt toujours les $\frac{2}{3}$ de la peſanteur totale, la faiſoit trop grande.

Mais s'il ſe trouve une erreur déja ſi conſidérable dans les Bâtimens de tranſport, comme les Flutes qui n'ont point de canon, & qui n'ont qu'un ſeul tillac, elle doit l'être bien davantage dans les Navires qui ſont *Frégatés*, qui ſont à deux ponts, & qui ont de l'artillerie. Ces Navires ſeront incomparablement plus peſants ; & ſupoſé qu'un de ces Navires ait ſa cale préciſément de même capacité que la Flute ; trompé qu'on ſera par la méthode que nous réfutons, dans laquelle la conſidération des différentes peſanteurs du Bâtiment n'entre point, on croira que le Navire ſera également de 288 tonneaux. Cependant il eſt certain qu'il ne ſera pas même de 254 ; puiſqu'il ſera encore beaucoup plus chargé par ſon propre poids, que ne l'étoit la Flute.

Il réſulte de tout cela que pour ne pas s'expoſer à commettre des injuſtices criantes, il faut, au lieu de chercher la ſolidité de la carène entiere, s'attacher à la meſure de la ſeule partie qui fait la différence des deux enfoncemens, & qui ſeule eſt proportionelle à la peſanteur de la charge. Il ſeroit inutile de tenter la diviſion de la ſolidité de la cale entiere par quelqu'autre nombre que par 42 pieds : car tous les nouveaux diviſeurs qu'on pourroit choiſir, ſupoſeroient toujours quelques raports déterminés entre la peſanteur totale & le poids de la charge ; mais

ces raports ne pourroient avoir encore lieu que par hazard dans certains Vaiſſeaux. Lorſqu'on meſurera au contraire la partie de la carène, qui fait la différence des deux enfoncemens, on ſe fera une méthode qui ſera abſolument générale, & qui réuſſira auſſi-bien dans l'aplication qu'on en fera aux Vaiſſeaux de Guerre, que dans celle qu'on fera aux Gabares & aux Bateaux qui navigent ſur les Rivieres. Ce ſont-là les deux cas extrêmes, dans leſquels le jaugeage, ſelon la méthode ordinaire, eſt ſujet aux plus grandes erreurs, en ſe trompant en excès, ſur le port des Vaiſſeaux, & en défaut ſur celui des Gabares. Si le Navire par lui-même eſt beaucoup plus peſant, il doit porter enſuite un moindre poids étranger; mais la partie de la carène qui reſte à caler, ſera plus petite dans le même raport; & il ſuffira donc toujours de la meſurer, pour avoir éxactement le poids de la charge.

CHAPITRE VI.

Suite du Chapitre précédent : Méthode de trouver la peſanteur de la charge, en meſurant la partie de la Carène qu'elle fait plonger dans la Mer.

I.

IL ne ſera jamais difficile de meſurer exactement cette partie, qui fait la différence des deux enfoncemens, ou qu'on doit regarder comme l'expoſant du poids des marchandiſes: Rien n'empêche de ſe ſervir de la méthode expliquée ci-devant, pour trouver la ſolidité des tranches de la carène. Meſurant en pieds quarrés l'étenduë des deux coupes horiſontales faites à fleur d'eau, lorſque le Navire eſt chargé, & lorſqu'il eſt vuide, il n'y a qu'à ajouter ces deux étenduës enſemble, & en prendre la moitié, pour avoir la coupe moyenne; & multipliant cette

cette derniere étenduë par la hauteur ou l'épaisseur de la partie, il viendra la solidité qu'il ne restera plus qu'à diviser par 28, pour avoir la pesanteur de la charge en tonneaux. Diverses personnes dans la Marine ont connu depuis long-tems cette pratique ou ses équivalentes : elle étoit sçue il y a plus de 60 ans à Brest ; feu M. Coubard, aussi habile Mathématicien que sçavant Hydrographe, m'ayant assuré qu'elle étoit en usage dans ce Port, lorsqu'il y arriva ; & il seroit facile de remonter à une époque encore plus éloignée, si on le vouloit. C'est cette Méthode que M. Hocquart, qui l'avoit apprise à Brest, & de M. Coubard même, eut le soin d'adresser au Conseil de Marine dès 1717, & que M. de Mairan, trop éclairé pour ne pas faire un bon choix, consentit à adopter, en la préférant à un grand nombre d'autres *; mais après l'avoir purgée de quelques défauts dont elle s'étoit chargée dans les différentes mains par lesquelles elle avoit passé. Cette pratique supose que les coupes horisontales de la carène sont en progression arithmétique, ou qu'elles sont proportionelles à celles du conoïde parabolique, coupé perpendiculairement à son axe. On pourroit craindre que des arcs de parabole pris à une certaine distance du sommet, fussent trop droits pour représenter toute la courbure de la carène dans le sens vertical, & que la Méthode rendit le port du Vaisseau un peu trop petit. Mais comme les deux coupes la plus haute & la plus basse, qui interceptent la partie qui fait la différence des deux enfoncemens, sont toujours peu éloignées l'une de l'autre, il est certain que le défaut de courbure de la parabole ne peut apporter que des erreurs peu considérables, & qui seront pour l'ordinaire assez petites pour devoir être tolerées.

* Voyez les Mémoires de l'Academ. des Sciences, ann. 1721.

Nous devons ajouter que cette Méthode peut encore s'abreger, & souvent en devenant plus exacte. Au lieu de chercher l'étenduë de la coupe moyenne de la partie de la carène, qui fait la différence des deux enfoncemens, en prenant la moitié de la somme de la premiere

& de la derniere, il n'y a qu'à la mesurer immédiatement; en se dispensant de mesurer les deux autres. On trouvera sensiblement la même chose, comme je l'ai éprouvé quelquefois : à cela près que cette coupe moyenne actuellement mesurée, sera presque toujours un peu plus grande; ce qui réparera souvent le défaut dans lequel on tombe, en attribuant aux flancs de la carène la courbure parabolique qui est un peu trop petite ; pourvû néanmoins qu'on ne tombe pas dans l'excès contraire.

Prenons, pour exemple, un Navire qui étant sans charge, ait tous ses agreils, son artillerie & ses munitions à bord; ou dans lequel on ait au moins déja introduit un poids égal à la pesanteur de toutes ces choses. On l'examinera lorsqu'il sera à flot, & on verra combien il doit encore caler par le poids de sa charge, sans être exposé à aucun accident : s'il a, par exemple, encore 7 pieds à enfoncer, on mesurera l'étenduë de la coupe horisontale, $3\frac{1}{2}$ pieds au-dessus de la surface de l'eau. Ce sera la coupe moyenne dont on vient de parler; & il ne restera plus qu'à la multiplier par les 7 pieds d'épaisseur de toute la tranche pour avoir la solidité. Il n'est pas nécessaire que je dise de rechef que pour mesurer l'étenduë de la coupe, on doit la partager en plusieurs trapezes, par des largeurs prises à une égale distance les unes des autres. Si ces largeurs se trouvent en commençant vers la poupe de 1 pied, de 16, de 26, de 28, de 29, de 28, de 27, de 22 & de 1, & que la distance de l'une à l'autre, soit de 15 pieds, parce que toute la longueur de la coupe est de 120, son étenduë sera de 2655 pieds quarrés, qu'il ne restera plus qu'à multiplier par 7, hauteur de toute la partie qui se plonge par la charge; & il viendra pour la solidité 18585 pieds cubiques qui étant divisés par 28, donnent environ 664 tonneaux pour le port du Navire dont il s'agissoit.

Nous ne devons pas au reste négliger de faire une remarque que nous croyons très-importante. C'est qu'il est absolument nécessaire pour mesurer l'étenduë des

Digitized by Google

coupes horifontales, ou d'employer le moyen dont nous nous fommes fervis, ou d'en employer quelqu'autre, qui étant invariable dans les opérations qu'il exige, ne laiffe rien au choix, ni à la direction du Jaugeur. Lorfque je fis au Croific des épreuves de cette Méthode, à la recommandation de l'Académie, dont je n'avois pas encore l'honneur d'être Membre, je crû que fur l'expofé du P. Reyneau, qu'il n'étoit pas précifément queftion de la maniere de mefurer les coupes horifontales : mais qu'il s'agiffoit de reconnoître quelle loi elles fuivoient ; de fçavoir fi elles étoient proportionelles aux coupes correfpondantes d'un conoïde parabolique, ou fi elles fuivoient quelqu'autre progreffion. Ce ne fut que de cet unique point de vûë que je confiderai le problême, & que je rendis témoignage de l'exactitude que je trouvai dans chaque opération. Ainfi les épreuves que je fis alors, ne font favorables à celle dont il s'agit maintenant, que dans la feule fupofition qu'on mefure l'étenduë des coupes dans la plus grande exactitude, comme je tâchai de le faire : au lieu que ce ne feroit peut-être plus la même chofe, fi on fe faifoit une régle de ne les partager qu'en un certain nombre de parties, comme trois ou quatre, ainfi que le vouloit M. Hocquart d'après M. Coubard ; & qu'on laiffât au Jaugeur à décider fi telle partie doit être traitée comme un fegment de fection conique, ou comme une autre figure qu'il ne connoîtra fouvent pas mieux. De telles régles ne font bonnes que lorfqu'elles font entre les mains de gens éclairés, qui fçavent les accommoder aux circonftances particulieres, en voyant les changemens qu'il faut y faire : Dans l'ufage ordinaire, on a befoin d'une Méthode qui n'exige rien autre chofe que d'être obfervée inviolablement, par le Praticien groffier, qui fait les fonctions de Géométre.

II.

Lorfque la queftion du Jaugeage fut traitée dans l'Académie des Sciences, il ne fut pas poffible à M. Va-

rignon livré, comme tout le monde ſçait, au pur Géométrique, de ſe borner à choiſir entre le grand nombre de Pratiques de toutes parts recueillies par le Conſeil de Marine, leſquelles ne portoient pas pour lui le caractere d'une préciſion aſſez rigoureuſe. Il crut devoir imaginer une Méthode nouvelle, qui eſt toute de lui, & qu'on peut voir dans le même Volume de 1721. J'en fis auſſi des eſſais pour ſatisfaire à l'intention de l'Académie qui, retenuë par ſa ſageſſe ordinaire, vouloit pour plus de ſureté, que toutes les différentes pratiques qu'on propoſoit, fuſſent ſoumiſes à l'expérience, & apliquées actuellement à la figure même des Vaiſſeaux. M. Varignon prétendoit obtenir la ſolidité de cette partie de la carène qui eſt *l'expoſant* de la charge, en la conſidérant comme une tranche d'ellipſoïde formé ſur les principales dimenſions du Navire. Il circonſcrivoit un ellipſoïde, ou plutôt un demi-ellipſoïde à la carène, & il prenoit enſuite pour la partie dont il vouloit avoir la ſolidité, la partie correſpondante de l'ellipſoïde, interceptée entre les mêmes plans horiſontaux. Il donna pour cela une formule qui ne pouvoit pas manquer d'être élegante, en partant de mains ſi habiles. Mais il arrivoit preſque toujours que les deux parties qu'il comparoît, ne ſe reſſembloient que très-peu, qu'elles étoient plus ou moins longues, & plus ou moins larges l'une que l'autre, & qu'elles avoient des ſolidités très-inégales; juſques-là que je trouvai dans les eſſais que j'en fis, une différence de plus d'une ſeptiéme partie, dans un cas qui paroiſſoit néanmoins très-favorable: c'étoit en apliquant la Méthode à une Gabare, qui approchoit plus de la figure de l'ellipſoïde que toute autre eſpece de Bâtiment que je connoiſſe. Outre cela il étoit abſolument impoſſible de faire uſage de la même Méthode pour les Navires, dont la poupe eſt terminée par un plan preſque vertical, lorſque ce plan entre dans l'eau, ou qu'il entame une partie même de la carène.

Toutes ces difficultés me firent penſer, qu'au lieu de former l'ellipſoïde ſur les principales dimenſions du Na-

Digitized by Google

vire, il valoit beaucoup mieux l'accommoder à la seule figure de la partie de la carène qu'il s'agiſſoit de meſurer; ſans ſe mettre en peine ſi le reſte du ſolide convenoit avec le reſte du Vaiſſeau, dont il n'étoit pas alors queſtion. Qu'importoit-il en effet que tout l'ellipſoïde eût exactement la même longueur, la même largeur & la même profondeur que le Vaiſſeau, ſi la partie de la carène dont on vouloit découvrir la ſolidité, n'avoit que peu ou point de raport avec la partie correſpondante de l'ellipſoïde qu'on meſuroit en ſa place? Il falloit donc, ſans avoir égard à tout l'ellipſoïde, s'attacher ſeulement à conformer avec exactitude une partie ſur l'autre; à modeler ſur la partie de la carène, la partie de l'éllipſoïde, deſtinée à la repréſenter. Comme ce ne pouvoit être encore que par un extréme hazard que les coupes horiſontales de la carène fuſſent exactement des ellipſes, & égales aux coupes correſpondantes de l'ellipſoïde, puiſque cela n'avoit pas même lieu dans nos Gabares, il me parut qu'on ne pouvoit pas ſe diſpenſer de meſurer au moins l'étenduë de la premiere & de la derniere; c'eſt-à-dire des deux qui interceptent la partie de la carène, & qu'on ne pouvoit emprunter tout au plus de l'ellipſoïde que la ſeule loi ou progreſſion qu'il y a entre l'étenduë de ſes coupes. A l'aide de tous ces changemens, on devoit parvenir à déterminer le port des divers Bâtimens dans la derniere préciſion : M. Varignon même eut la générofité d'en convenir. Mais d'un autre côté la méthode devenoit beaucoup plus longue en perdant de ſa ſimplicité : Il falloit, pour ainſi dire, payer par un plus long calcul ce qu'on gagnoit du côté de l'exactitude. La Méthode ſe réduiſoit à cette autre formule $\frac{A \times \overline{2f^2 - fe - e^2} + B \times \overline{f^2 - fe - 2e^2}}{3f + 3e}$ qui exprime la ſolidité requiſe, pendant que A & B déſignent l'étenduë des deux coupes horiſontales actuellement meſurées, faites à fleur d'eau, lorſque le Navire eſt chargé, & lorſqu'il eſt vuide; & que e & f marquent les quantités verticales dont ces mêmes coupes ſe trouvent au-deſſous de l'endroit le plus gros de la carène.

Pour voir l'origine de cette nouvelle régle, on n'a qu'à
Fig. 53. considerer dans la Figure 53, l'ellipsoïde PQR, qui conformément à ce qu'on vient de dire, ne représente pas, comme le vouloit M. Varignon, la carène entiere du Navire ABCD; mais dont la partie STXV est la plus égale qu'il est possible à la partie correspondante EFGH, dont on veut avoir la solidité. Nous suposons qu'on a mesuré actuellement l'étenduë A & B des deux coupes horisontales FE & GH qui interceptent cette partie: c'est connoître déja l'étenduë des coupes ST & VX de l'ellipsoïde qui sont de même grandeur. On connoît aussi les distances YO & ZO de ces dernieres coupes au centre O de l'ellipsoïde, qui sont égales aux quantités $LI = e$, & $MI = f$, dont l'endroit I le plus gros du Navire est élevé au-dessus de la surface de l'eau, dans les deux différens états où l'on est obligé de le considerer. Cela suposé, je nomme p le demi-axe vertical OQ de l'ellipsoïde ou de la sphère, (car c'est la même chose) dont les coupes sont en même raison que celle de la carène dans l'endroit qu'il s'agit de mesurer, & x les parties verticales de ce demi-axe OQ, à commencer du centre O. Ainsi x représente la quantité dont chaque coupe est au-dessous du centre, & la différentielle dx représentera l'épaisseur infiniment petite de chaque tranche ou de chaque élement, dont on peut suposer que la tranche sensible STXV est formée. Il est évident que puisque les coupes de la partie de la carène sont en même raison que les coupes correspondantes de la sphère, dont $OQ = p$ est le demi-axe, & que les cercles qui sont les coupes de la sphere, sont en même raport que les quarrés de leur rayon, on pourra faire cette analogie $\overline{OQ}^2 - \overline{OY}^2 = p^2 - e^2$ est à l'étenduë A de la coupe ST ou FE comme $\overline{OQ}^2 - \overline{OZ}^2 = p^2 - f^2$ est à l'étenduë B de la coupe VX ou GH; ce qui donne l'équation $Bp^2 - Be^2 = Ap^2 - Af^2$, dans laquelle $p^2 = \frac{Af^2 - Be^2}{A - B}$. Ainsi on connoît déja le demi-axe vertical p de l'ellipsoïde ou de la sphère dont les coupes horisontales sont pro-

portionelles aux coupes correſpondantes de la carène.

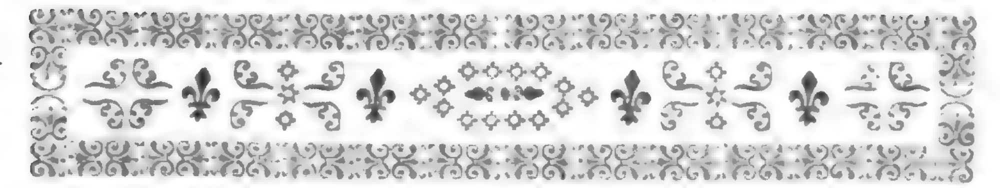
Par la même proprieté de la ſphère, ou à cette autre analogie $p^2 - e^2$ eſt à l'étenduë a^2 de la coupe ST ou FE, comme $p^2 - x^2$ eſt à $\frac{Ap^2 - Ax^2}{p^2 - e^2}$ pour l'étendue de toutes les autres coupes : & ſi on multiplie cette étenduë par la quantité infiniment petite dx, on aura $\frac{Ap^2dx - Ax^2dx}{p^2 - e^2}$ pour l'expreſſion des tranches infiniment peu épaiſſes qui ſervent d'élement à la carène. Je prends l'intégrale $\frac{Ap^2x - \frac{1}{3}Ax^3}{p^2 - e^2}$ qui peut exprimer également la ſolidité de toutes les parties ſenſibles, qui répondent aux différentes parties x du demi-axe vertical : Mais il faut mettre ſucceſſivement $f = OZ = IM$, & $e = OY = IL$ à la place de x; il viendra $\frac{Ap^2f - \frac{1}{3}Af^3}{p^2 - e^2}$ & $\frac{Ap^2e - \frac{1}{3}Ae^3}{p^2 - e^2}$, & ôtant l'une de l'autre, il reſtera pour la ſolidité de SX ou de FH, $\frac{Ap^2f - Ap^2e - \frac{1}{3}Af^3 + \frac{1}{3}Ae^3}{p^2 - e^2}$; & ſi l'on ſubſtitue $\frac{Af^2 - Be^2}{A - B}$ à la place de p^2, on réduira cette expreſſion à $\frac{\frac{2}{3}Af^3 - Af^2e + \frac{1}{3}Ae^3 + \frac{2}{3}Be^3 - Be^2f + \frac{1}{3}Bf^3}{f^2 - e^2}$, & par la diviſion à $\frac{A \times \overline{2f^2 - fe - e^2} + B \times \overline{f^2 + fe - 2e^2}}{3e + 3f}$, qui exprime donc en grandeurs entierement connuës, la ſolidité de la partie de la carène qut s'enfonce dans l'eau par la ſeule peſanteur de la charge. Dans le cas où le Navire chargé enfoncera juſqu'au terme I de la plus grande largeur, il arrivera que IL ou $OY = e$ ſera nulle, & alors la formule précédente ſe réduira à $\overline{2A + B} \times \frac{1}{3}f$, qui eſt beaucoup plus ſimple.

On voit aſſez que la méthode que fournit l'une & l'autre formule, ne peut pas manquer d'être exacte, & qu'elle doit même l'emporter ſur toutes les autres pratiques, auſſi-tôt qu'elles n'employent que le même nombre de meſures. Il eſt ſeulement fâcheux que le calcul dans lequel il eſt néceſſaire d'entrer, puiſſe paroître un peu long aux perſonnes qui ſe mêlent du jaugeage. Mais on peut ſe ſervir de cette nouvelle régle, lorſqu'on ſe propoſe une plus

grande précision, & employer la Méthode du premier article dans tous les cas ordinaires. Je trouvai dans la Gabare *la Mariane*, que l'étenduë A de la coupe supérieure étoit de 265 pieds 22 pouces quarrés, que celle de la coupe inférieure B étoit de 229 pieds 95 pouces quarrés, & que les quantités *e* & *f* étoient de 1 pied 6 pouces & de 3 pieds 4 pouces. En apliquant la formule à ces quantités, il me vint 457 pieds 1196 pouces cubiques; ce qui ne différe presque pas de la vraye solidité 457 pieds 1725 pouces cubiques que j'obtins, en partageant en 60 prismes la partie de la carène qui faisoit la différence des deux enfoncemens.

SECONDE

Digitized by Google



SECONDE SECTION.

De la diſtribution de la peſanteur du Vaiſſeau, & de la poſition qu'on doit donner au centre dans lequel ſe réunit cette peſanteur.

CHAPITRE PREMIER.

Méthode de trouver le centre de gravité de la Carène, dans lequel ſe réunit la pouſſée verticale de l'eau.

NOUS n'avons peut-être que trop inſiſté & ſur la peſanteur que doit avoir le Navire, & ſur les diverſes forces qu'a la Mer pour le pouſſer verticalement en haut, ſelon que la partie ſubmergée de la carène eſt plus ou moins grande. Nous devons maintenant examiner la diſtribution de cette peſanteur; & avant toutes choſes donner quelque moyen ſimple de déterminer le centre de gravité de la partie ſubmergée, dans lequel nous ſçavons que ſe réunit la pouſſée de l'eau. Les Géométres ne manquent pas de Méthodes pour découvrir le centre de gravité des corps, de même que le centre d'effort de pluſieurs puiſſances. Mais on a beſoin ici d'une pratique générale, dont on puiſſe, malgré ſa ſimplicité, ſe ſervir pour les corps de toutes ſortes de figures: ce qui empêche d'avoir recours aux opérations abſolument Géométriques.

I.

Tous les Mécaniciens ſçavent le moyen de trouver le centre de gravité des corps par l'expérience, en les ſuſpendant : il ne ſera pas inutile d'avertir que rien n'eſt plus facile que d'employer ce moyen dans les Arſenaux de Marine, où on a toujours prêtes toutes les choſes néceſſaires pour cela. Il n'y a qu'à faire faire avec du bois le plus homogène qu'il ſera poſſible, une petite carène ſolide, parfaitement proportionelle ou ſemblable à la grande. On tracera une échelle de parties égales, dans laquelle les pieds de Roy ſeront repréſentés par le $\frac{1}{3}$ ou le $\frac{1}{4}$ d'un pouce; & on fera toutes les largeurs de la petite carène, & toutes les autres dimenſions, d'autant de ces petits pieds, que la grande carène en contiendra de grands. La petite carène étant enſuite ſoutenuë avec une ficelle en différentes ſituations; ſi on prolonge par la penſée la ficelle au-dedans du corps, elle indiquera ſon centre de gravité, qui ſera ſitué préciſément de la même maniere dans la grande carène. Cette pratique, comme on le voit, eſt très-ſimple : cependant il eſt à propos de pouvoir quelquefois ſe diſpenſer de s'en ſervir, & d'avoir pour cela d'autres Méthodes qu'on puiſſe apliquer d'une maniere plus directe.

II.

Le principe dont on doit continuellement faire uſage dans cette recherche, c'eſt que la ſomme des momens de pluſieurs puiſſances ou de pluſieurs poids, c'eſt-à-dire la ſomme de tous leurs produits particuliers par leur diſtance à un point qu'on prend pour terme ou pour hypomoclion, eſt égale au moment total de ces poids, ou au produit de leur ſomme par la diſtance de leur centre de gravité commun à ce point qui ſert de terme. Ce principe qui eſt général, eſt également vrai, lorſqu'il y a un nombre infini de différens poids, que lorſqu'il n'y en a qu'un nombre limité; pourvû que leurs directions ſoient

Digitized by Google

paralleles : & il en résulte que pour trouver le centre de gravité de plusieurs poids, il n'y a toujours qu'à chercher le moment particulier de chacun, ou le multiplier par sa distance au point fixe, faire une somme de tous ces momens ; & que la divisant par la somme des poids, on aura la distance requise du centre de gravité commun au point fixe.

III.

Proposons-nous pour commencer par une aplication plus simple du principe, de trouver le centre de gravité Γ de la surface AMGN (Fig. 51.) ; & nommons *x* les parties variables AB, AC, &c. de son axe, & *y* ses largeurs ordonnées QR, OP, &c. nous aurons $\frac{Syxdx}{Sydx}$ pour l'expression de la distance ΓA. Car les petits rectangles élementaires compris entre deux ordonnées infiniment proche l'une de l'autre, seront exprimés par *ydx*, & leur somme ou l'étenduë entiere de la surface par l'intégrale *Sydx*, pendant que *xydx* exprimera les momens particuliers de ces mêmes élemens considerés comme de petits poids par raport au point A, & *Sxydx* représentera leur somme totale, ou le moment total qu'il ne reste donc plus qu'à diviser par *Sydx* somme des poids. Toute la difficulté que renferme cette recherche consiste, comme il est évident, à trouver les intégrales ; mais si on veut en venir à bout sans peine, on n'a qu'à les chercher par la Méthode expliquée dans le second Chapitre de la section précédente. Fig. 51.

On a déja montré que pour découvrir l'étenduë d'une surface AMGN, il n'y a qu'à partager sa longueur en plusieurs parties égales dans les points B, C, D, &c. mesurer toutes les ordonnées ou les largeurs vis-à-vis de ces points ; & que faisant ensuite une somme de toutes les largeurs intermédiaires & de la moitié des deux extrêmes, il ne restoit plus qu'à multiplier cette somme par la distance d'une largeur à l'autre. On aura de cette sorte

Digitized by Google

Fig. 51. l'intégrale $Sydx$; & pour trouver de la même maniere l'intégrale $Syxdx$, on multipliera chaque ordonnée ou largeur par sa distance au point A; on fera une somme de tous ces produits, excepté du premier & du dernier, dont on n'introduira dans la somme que la seule moitié, & multipliant cette somme par la distance d'une largeur à l'autre, on aura l'intégrale $Syxdx$, qu'il ne restera donc plus qu'à diviser par la premiere, pour avoir au quotient la distance du centre de gravité à l'extrémité de la surface.

La premiere intégrale, ou l'étenduë de la surface, sera $AB \times \overline{\tfrac{1}{2}ST + QR + OP + \&c.}$ & la seconde, ou la somme des momens sera $AB \times \overline{AB \times QR + AC \times OP + AD \times MN + \&c.}$ qui se réduit à $\overline{AB}^2 \times \overline{QR + 2OP + 3MN + 4KL + \&c.}$ Or si l'on divise cette seconde intégrale par la premiere, il viendra $AB \times \frac{QR + 2OP + 3MN + 4KL + \&c.}{\frac{1}{2}ST + QR + OP + \&c.}$ qui fournit cette régle très-simple, pour trouver le centre de gravité d'une surface plane quelconque, dont on a mesuré un certain nombre de largeurs à une égale distance les unes des autres. *C'est de faire une somme de la seconde largeur* QR, *du double de la troisiéme* OP, *du triple de la quatriéme* MN, *& ainsi de suite jusqu'à la derniere, dont on ne prendra que la moitié du multiple. Cette somme étant trouvée, on la multipliera par la distance d'une largeur à l'autre, & enfin on divisera le produit par la somme de toutes les largeurs intermédiaires, & de la moitié des deux extrêmes. Le quotient marquera la distance du centre de gravité de la surface à son extrémité.*

Prenons pour exemple la surface dont nous avons parlé dans le Chapitre II. de la Section précédente, & dont la longueur est de 120 pieds, & les sept largeurs vis-à-vis des points A, B, C, &c. de 18 pieds, de 23, 28, 30, 30, 21 & 0. En ajoutant la seconde largeur 23 avec le double de la troisiéme 28, le triple de la quatriéme 30, &c. on aura 394 qui étant multiplié par 20, distance d'une largeur à l'autre, donne 7880 pour la valeur de $AB \times \overline{QR + 2OP + 3MN + \&c.}$ Après cela il ne reste plus

qu'à divifer cette quantité par $141 = \frac{1}{2}ST + QR + OP$, &c. & il viendra au quotient 55 pieds prefque 11 pouces pour la diftance requife du centre de gravité Γ au point A. Il n'eft fans doute pas poffible d'abréger davantage cette Méthode: on en a donné une autre dans le Traité de la Mâture, qui fera ordinairement un peu plus exacte; mais celle-ci l'eft toujours affez dans la pratique; & outre cela elle eft beaucoup plus fimple.

IV.

Il n'y aura pas plus de difficulté à trouver le centre de gravité d'un folide; le calcul fera fimplement plus long. Le folide étant partagé en plufieurs tranches de même épaiffeur par des plans paralleles, on cherchera le centre de gravité de chaque coupe, ou de chaque furface qui fépare les tranches, & multipliant l'étendue de chaque coupe par la diftance de fon centre de gravité à une ligne qu'on prendra pour terme. Il n'y aura qu'à faire une fomme de tous ces produits, en n'employant cependant dans l'addition que la moitié du premier & du dernier; il fuffira enfuite de divifer cette fomme par celle de l'étenduë de toutes les furfaces intermédiaires, & de la moitié de la premiere & de la derniere, pour avoir au quotient la diftance du centre de gravité du folide entier à cette ligne qui fert de terme. Dans le Vaiffeau de la Figure 50, par exemple, rien n'empêche de trouver les centres de gravités particuliers T, S, R, &c. de toutes les coupes AD, OL, &c. de la même maniere qu'on l'a trouvé de la furface AMGN (Fig. 51.) Or fi on multiplie l'étenduë de chaque de ces coupes par la diftance de fon centre de gravité à l'étambot AB, & qu'on divife la fomme de la moitié du premier & du dernier produit, jointe aux autres produits entiers, par la fomme de l'étenduë de toutes les coupes intermédiaires & de la moitié de la premiere & de la derniere, on aura la diftance du centre de gravité de toute la carène ADCB à l'étambot. Fig. 50.

Mais après avoir trouvé la fituation de ce centre par

raport à la longueur du Navire, il faut la chercher par raport à la hauteur. Pour y réussir aisément, il n'y aura qu'à faire une somme de l'étenduë de la seconde coupe IM, à commencer par en bas, du double de l'étenduë de la troisiéme KN, du triple de la quatriéme, &c. jusqu'à la derniere AD, dont on ne prendra le multiple que de la moitié; & multipliant cette somme par la distance d'une coupe à l'autre, il ne restera plus qu'à en diviser le produit par la somme de toutes les coupes intermédiaires IM, KN, &c. & de la moitié des deux extrêmes CB & DA; & on aura au quotient la hauteur du centre de gravité de la carène au-dessus de la quille. Il n'est pas nécessaire que nous nous arrêtions à expliquer la raison de cette pratique: on voit sans doute assez que nous considerons l'étenduë de toutes les coupes comme les ordonnées de la surfaces AMGN de la Fig. 51. & que nous agissons précisément à l'égard de ces coupes, comme nous avons operé à l'égard des ordonnées.

CHAPITRE II.

De la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre le centre de gravité du Vaisseau.

I.

LE centre de gravité de la carène étant déterminé, on connoîtra le point dans lequel se réunit la poussée de l'eau, & d'où part la verticale sur laquelle cette puissance agit. Le centre de gravité du Vaisseau, comme nous l'avons montré dans la Section précédente, se place toujours exactement dans la même verticale; sans cela la poussée de l'eau ne se trouveroit pas directement oposée à la pesanteur du Navire, & ne pourroit pas la soutenir; ces deux forces ne se contrebalanceroient pas, ni ne

Digitized by Google

suspendroient jamais entierement l'action l'une de l'autre. Mais ce n'est pas encore assez pour que la situation du Navire soit permanente : car les parties de l'eau, de même que celles de toutes les autres liqueurs, sont dans un mouvemeut continuel; & il arrive sans cesse que quelqu'unes de ces parties chocquent la carène plus d'un côté que de l'autre; ce qui suffiroit pour produire une inclinaison qui ne seroit d'abord, si on le veut, qu'insensible; mais qui ne manqueroit jamais d'augmenter comme d'elle-même, si le centre du Navire étoit trop haut. Il n'y a personne qui n'ait éprouvé quelquefois quelque chose de semblable, en tâchant de faire floter de bout un morceau de bois, ou quelqu'autre corps leger, qui avoit beaucoup de longueur. Il s'agissoit d'abord de le placer verticalement, & de mettre son centre de gravité exactement au-dessus de celui de l'espace qu'il occupoit dans l'eau par son extrémité : mais quoiqu'on réussît peut-être à donner cette situation précise, la moindre cause extérieure suffisoit pour l'alterer; & aussi-tôt que le corps avoit commencé une fois à s'incliner, sa propre pesanteur d'un côté, & la poussée verticale de l'eau de l'autre, tendoient conjointement à le faire incliner davantage, & à le faire tomber.

II.

Il n'est que trop certain que la même chose doit arriver à un Navire, dont le centre de gravité est trop élevé. Suposons que OEC (Fig. 54) représente la coupe d'un Vaisseau faite perpendiculairement à sa longueur, que g soit son centre de gravité, & Γ celui de sa carène, ou de sa partie AEB qui est submergée, lorsqu'il est situé horisontalement; & que ΓZ qui est en même tems verticale, soit la direction de la *poussée*. Si ce Navire en prenant une situation qui ne différe de la premiere que d'une quantité infiniment petite, & qui soit causée par le choc irrégulier de la moindre particule d'eau ou d'air, s'incline de maniere que *ab* se trouve exactement dans la surface de Fig. 54.

Fig. 54. la Mer ; cette force avec laquelle l'eau agit de bas en haut, ne se réunira plus dans le centre de gravité Γ de la carène AEB, elle se réunira dans le centre de gravité γ de la partie *aEb* actuellement submergée ; & comme la direction γz qui sera alors verticale, au lieu de passer par le centre de gravité I, sera placée du côté oposé à l'inclinaison, il est clair que cette puissance, bien loin de travailler à rétablir la premiere situation, tendra au contraire à causer une plus grande inclinaison. Il n'est donc pas possible que le Navire reste alors de niveau ; puisqu'il n'est retenu dans cet état par aucune force, & qu'il suffit qu'une cause infiniment foible, commence à l'en faire sortir, pour qu'il continuë ensuite comme de lui-même à s'incliner. S'il est possible qu'il reste de niveau, c'est d'une possibilité purement Métaphysique, à laquelle il manque quelquefois bien des choses, comme on le sçait, pour qu'on la voye réduite en acte : de même que l'expérience nous apprend qu'une aiguille ne se tient jamais debout sur sa pointe, quoique la chose soit possible, à parler géométriquement.

III.

Mais que le centre de gravité du Vaisseau, au lieu d'être en I au-dessus de l'intersection *g* de ΓZ & γz, soit en G au-dessous de cette intersection ; la poussée de l'eau sera alors toujours prête à rétablir la situation horisontale, en cas qu'elle soit alterée ; parce que la direction sera toujours placée du côté de l'inclinaison par raport au centre G. Il y aura donc alors une puissance qui maintiendra continuellement le Navire dans son niveau, ou au moins qui ne manquera pas de l'y faire revenir, pour peu qu'il s'en écarte, & qui augmentera selon les besoins. Ainsi on voit combien il est important de connoître le point d'intersection *g*, qui en même tems qu'il sert de limite à la hauteur qu'on peut donner au centre de gravité G, distingue le cas où le Navire conserve sa situation horisontale, de celui où il verseroit dans le Port même, sans pouvoir se

Digitized by Google

ſe ſoutenir un ſeul inſtant. Le point *g* qu'on peut, à juſte titre, nommer *métacentre*, eſt le terme que la hauteur du centre de gravité G, ne doit pas paſſer, & ne doit pas même atteindre : car ſi le centre de gravité G étoit en *g*, le Navire n'affecteroit pas plus la ſituation horiſontale que l'inclinée ; les deux ſituations lui ſeroient également indifférentes : & il ſeroit par conſéquent incapable de ſe relever, lorſque quelque cauſe étrangere l'auroit fait pancher.

IV.

Si la carène étoit un demi-ſphéroïde, ou un ſegment de ſphéroïde retranché par un plan parallele à l'axe, il ne ſeroit jamais difficile de trouver le point *g*, *le métacentre* ; puiſqu'il ſeroit le centre des coupes du Vaiſſeau faites perpendiculairement à ſa longueur, leſquelles ſeroient exactement des cercles. Supoſé que OEC (Fig. 55.) ſoit une de ces coupes, & que l'inclinaiſon ſoit portée aſſez loin pour que le ſegment *a*E*b* ſoit la partie ſubmergée, la force qu'a l'eau pour ſoûtenir les corps, & qui ſe réunira dans le centre de gravité γ de ce ſegment, agira ſelon la verticale γz qui eſt un rayon du cercle OEC, & ce ſera la même choſe dans toutes les autres ſituations. Il n'importe par conſéquent dans ce cas particulier comment le centre de gravité G du Navire ſoit ſitué par raport à la ſurface de l'eau *ab* en deſſus ou en deſſous, pourvû que placé, comme il ne peut pas manquer de l'être, ſur le rayon *g*E, il ſoit au-deſſous du centre *g* du cercle qui forme la coupe OEC. Au reſte, plus le centre de gravité G ſera bas, plus il ſera éloigné en cas d'inclinaiſon de la verticale γz, ſur laquelle s'exerce la pouſſée de l'eau; & plus cette pouſſée, quoique la même, ſera enſuite placée avantageuſement, ou appliquée à un bras de levier plus long, pour pouvoir rétablir la ſituation horiſontale.

Fig. 55.

CHAPITRE III.

Méthode de déterminer le Métacentre, ou le terme de la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre le centre de gravité du Vaisseau.

I.

LORSQUE les coupes verticales de la carène faites perpendiculairement à la longueur du Navire, ne sont pas des cercles, il faut ordinairement se livrer à une assez longue discussion, pour pouvoir découvrir *le métacentre*, ce point au-dessous duquel il est nécessaire de mettre le centre de gravité du Navire. Comme la question se réduit à
Fig. 54. déterminer la situation des directions ΓZ & γz (Fig. 54.) sur lesquelles agit successivement la poussée de l'eau, il faut chercher d'abord combien les centres de gravité Γ & γ d'où partent ces lignes, sont éloignés l'un de l'autre. Γ comme nous l'avons déja assez dit, est le centre de gravité de la carène AEB, considérée comme homogène, & γ de la partie qui est submergée, lorsque le Navire est incliné. L'intervalle entre les deux centres ne doit être qu'un infiniment petit, puisqu'il ne s'agit d'abord que de la premiere, ou plus petite inclinaison du Navire. La carène AEB & le solide *a*E*b*, ont une partie commune AF*b*E, dont le centre de gravité est en 3 : Ainsi le petit intervalle Γγ qui se trouve entre les centres de gravité Γ γ, ne vient que des deux autres parties BF*b* & AF*a*, dont l'une sort de l'eau, pendant que l'autre y entre; & qui ont leur centre de gravité en 1 & en 2. Mais la carène AEB n'étant formée que de la partie commune AE*b*F, & de la petite partie BF*b*, son centre de gravité Γ doit être situé sur la ligne 3 1 qui joint les centres de gravité 3 & 1 de AE*b*F & de BF*b*; & 1 Γ doit être à 3 Γ, comme

Digitized by Google

la partie commune AEbF eſt au petit ſolide BFb qui s'éleve de l'eau ; puiſque toutes les parties d'un corps ſont en équilibre autour de ſon centre de gravité, & que l'équilibre ne conſiſte que dans cette proportion qui rend les momens égaux. Par la même raiſon le centre de gravité γ du ſolide aEb qui ſert de carène pendant l'inclinaiſon du Navire, doit être ſur la ligne 3 2, qui joint les centres de gravité 3 & 2 de AEbF, & de AFa qui ſe plonge dans l'eau, lorſque le Navire s'incline. Mais comme les petits ſolides BFb & AFa ſont de même ſolidité, & qu'ils le ſeroient également, quand même ils ne ſeroient pas des corps ſemblables, puiſque le Navire occupe le même eſpace dans la Mer avant & après ſon inclinaiſon ; la partie commune AEbF doit avoir même raport au ſolide BFb qu'au petit ſolide AFa ; & il doit y avoir auſſi même raiſon de 2γ à 3γ, que de 1Γ à 3Γ. C'eſt-à-dire que la petite ligne $\Gamma\gamma$ qui eſt la diſtance des centres de gravité γ & Γ, diviſe les deux lignes 32 & 31 proportionellement ; & cette petite ligne eſt donc parallele à la ſurface de l'eau, ou à la diſtance 12 des centres de gravité 1 & 2. Il eſt clair que ce ſera encore la même choſe ſi le Navire continuë à s'incliner ; pourvû que la partie infiniment petite, qui ſe plonge d'un côté, ſoit toujours égale à celle qui s'éleve de l'autre. Fig. 56

II.

De ce que la partie commune AEbF eſt au petit ſolide BFb, comme 1Γ eſt à 3Γ, il ſuit auſſi que la carène entiere AEB eſt au petit ſolide BFb, comme 31 eſt à 3Γ, & on aura donc encore cette proportion ; la carène entiere AEB eſt au petit ſolide BFb, comme 12 eſt à $\Gamma\gamma$. Ainſi on pourra trouver la diſtance $\Gamma\gamma$ des centres de gravité Γ & γ, auſſi-tôt qu'on connoîtra la ſolidité de la carène AEB, la ſolidité de la petite partie BFb, & la diſtance 12 des centres de gravité 1 & 2 des petites parties BFb & AFa ; puiſque ce ſont là les trois premiers termes d'une proportion, dont la diſtance $\Gamma\gamma$ eſt la quatriéme.

Digitized by Google

III.

Fig. 54. Comme la figure du Vaisseau est donnée, on connoît sa coupe horisontale faite à fleur d'eau. Je nomme x les parties de l'axe de cette coupe, ou les parties de la longueur du Navire, & y les demi-largeurs ou ordonnées: FB est la plus grande de ces demi-largeurs; je la nomme b; & je désigne par e la quantité verticale & infiniment petite HB, dont le point B s'éleve de l'eau, lorsque le Navire s'incline de l'autre côté. Je considere après cela que le petit solide BFb qui sort de l'eau, & dont BFb n'est qu'une coupe, est formé d'une infinité de petits triangles verticaux, qui étant arrangés tout le long de la longueur du Navire à la distance infiniment petite dx les uns des autres, sont paralleles aux triangles BFb, & lui sont semblables. Ces petits triangles ont les demi-largeurs y pour bases, & on trouvera leur petite hauteur par cette proportion, $FB = b \mid BH = e \parallel y \mid \frac{e}{b}y$; de sorte que $\frac{e}{2b}y^2$ produit de y par $\frac{e}{2b}y$ sera l'étenduë de ces petits triangles. Je multiplie cette étenduë par l'épaisseur infiniment petite dx, il vient $\frac{e}{2b}y^2dx$ pour la solidité des petits triangles, ou plutôt des petits prismes triangulaires, dont le petit solide BFb est formé; & en intégrant on trouve $S\frac{e}{2b}y^2dx$, ou $\frac{e}{2b}Sy^2dx$ pour la grandeur de ce petit solide qui sort de l'eau par l'inclinaison du Navire; c'est là une des choses qu'on cherchoit.

Après cela je multiplie l'élement $\frac{e}{2b}y^2dx$ par $\frac{2}{3}y$; parce que le centre de gravité de chaque petit triangle répond aux $\frac{2}{3}$ de la base, ou de la demi-largeur y; & j'ai $\frac{e}{3b}y^3dx$ pour le moment de chaque petit prisme élementaire par raport au point F, ou par raport à l'axe de la coupe du Navire faite à fleur d'eau: Et l'intégrale $\frac{e}{3b}$ Sy^3dx

Digitized by Google

sera le moment du petit solide entier BFb. Ainsi il ne reste plus qu'à diviser ce moment total par la somme de tous les petits prismes triangulaires, ou par le petit solide entier BFb; & le quotient $\frac{2Sy^3dx}{3Sy^2dx}$ marquera, selon le principe général de Statique, la distance F1 du point F au centre de gravité 1 de ce solide BFb. On trouveroit de la même maniere la distance F2, si la carène étoit un corps irrégulier; mais comme les deux flancs de nos Navires sont toujours égaux, on n'a qu'à doubler F1, & ou aura $\frac{4Sy^3dx}{3Sy^2dx}$ pour la distance 12 des centres de gravité 1 & 2 des deux solides BFb, & AFa. Fig. 54.

IV.

Maintenant qu'on connoît la solidité $\frac{e}{2b}Sy^2dx$ de la petite partie BFb, & la distance $\frac{4Sy^3dx}{3Sy^2dx}$ des centres de gravité 1 & 2, il ne manque plus que de connoître la solidité de la carène pour pouvoir faire l'analogie indiquée à la fin de l'Article II. la carène AEB est à la petite partie BFb, comme 12 est à $\Gamma\gamma$. On trouvera toujours aisément par les moyens expliqués ci-devant, ou par les autres méthodes que fournit la Géométrie, cette solidité; & supposé que p la désigne, on aura donc $p \mid \frac{e}{2b}Sy^2dx \parallel \frac{4Sy^3dx}{3Sy^2dx} \mid \frac{2eSy^3dx}{3bp}$; ce qui montre que le centre de gravité γ de la partie aEb qui sert de carène pendant l'inclinaison du Navire, est éloigné du centre de gravité Γ de la carène AEb de la distance $\frac{2eSy^3dx}{3bp}$. Enfin si l'on fait attention que le petit triangle $\Gamma g\gamma$ qui est formé par la distance $\Gamma\gamma$ des centres de gravité Γ & γ, & par les lignes ΓZ & γz, lesquelles servent de direction à la poussée de l'eau dans les deux situations du Navire, est semblable au petit triangle BFH, à cause que les trois côtés de l'un sont perpendiculaires aux trois cotés de l'autre, on aura cette der-

Digitized by Google

Fig. 54. nicre proportion; $HB = e \mid FB = b \parallel \Gamma\gamma = \frac{2eSy^3dx}{3bp} \mid \Gamma g$. On en déduira cette formule, $\Gamma g = \frac{2Sy^3dx}{3p}$, qui apprend la plus grande hauteur Γg que peut avoir le centre de gravité du Navire au-dessus du centre de gravité Γ de sa carène.

Nous ne comptons pas comme une difficulté dans l'usage qu'on peut faire de cette formule, la nécessité où l'on est de trouver la valeur de l'intégrale Sy^3dx. Si l'on supose que la tranche horisontale du Navire faite à fleur d'eau, ait 100 pieds de long, & que ses demi-largeurs mesurées à $12\frac{1}{2}$ pieds de distance les unes des autres, soient, en commençant par l'extrémité de la prouë, de 1 pied, de 9, de 12, de $13\frac{1}{2}$, de $13\frac{1}{2}$, de $12\frac{1}{2}$, de $11\frac{1}{2}$, de $9\frac{1}{2}$, & de $7\frac{1}{2}$, on trouvera aisément par la Méthode expliquée dans le second Chapitre de la Section précédente, l'intégrale Sy^3dx: car on aura 1, 729, 1728, $2460\frac{3}{8}$, $2460\frac{3}{8}$, $1953\frac{1}{8}$, $1520\frac{7}{8}$, $857\frac{3}{8}$, & $421\frac{7}{8}$ pour les neuf cubes y^3; & si on ajoute ensemble tous ces nombres, mais en ne faisant entrer dans l'addition que la seule moitié du premier & du dernier, & qu'on multiplie la somme par $12\frac{1}{2}$ qui est la distance d'une largeur à l'autre, il viendra 149006. Après cela il ne restera plus qu'à diviser les $\frac{2}{3}$ de ce nombre par la solidité p de la carène, pour avoir la hauteur Γg. Si cette solidité qu'on peut toujours trouver aisément, ou par les Méthodes précises que fournit la Géométrie, ou par les moyens mécaniques que nous avons donnés dans la Section précédente, est égale à celle d'un ellipsoïde de même longueur, de même largeur & de même profondeur, & que sa profondeur soit de 12 pieds; cette solidité sera de 16971 pieds cubiques, & on aura par conséquent $5\frac{85}{100}$ pieds pour la hauteur du métacentre g au-dessus du centre de gravité Γ de la carène. Suposé de plus que ce dernier centre soit plongé dans l'eau de $4\frac{1}{2}$ pieds ou des $\frac{3}{8}$ de la profondeur, comme cela se trouve dans l'ellipsoïde, le point g qui est le terme ou

la limite de la plus grande hauteur du centre de gravité du Navire, sera élevé d'environ 1 pied 4 pouces au-dessus de la surface de la Mer.

V.

On pourra apliquer notre régle avec la même facilité à tous les Vaisseaux : mais on viendra à bout de la rendre plus simple, jusques-là qu'on pourra l'employer souvent sans calcul, lorsque toutes les coupes verticales de la carène faites parallelement à AEB, seront des figures semblables. Si dans ce cas particulier, K est le centre de gravité de la coupe AEB, centre qu'il faut ici bien distinguer de celui Γ de la carène entiere, puisque ce dernier résulte de la disposition ou de l'assemblage de tous les autres: notre formule se changera en $\Gamma g = \frac{2F\Gamma \times \overline{FB}^3}{3FK \times AEB}$, ou se réduira à cette simple analogie; le produit de la coupe AEB par la quantité FK, dont son centre de gravité K est plongé dans l'eau, est au $\frac{2}{3}$ du cube $\overline{FB}^3$ de la demi-largeur FB, comme la quantité FΓ, dont le centre de gravité de la carène est enfoncé dans l'eau, est à la hauteur Γ*g* du métacentre *g* au-dessus de ce dernier centre. Fig. 54.

Les Lecteurs un peu versés dans la Statique, doivent voir déja l'origine de ce Théoreme, ou de cette seconde régle, dans la conformité qu'il y a entre l'expression $\frac{2Sy^3dx}{3p}$ de Γ*g*, & celle qu'on sçait qu'a FΓ, qui ne doit être dans la circonstance présente, que $\frac{Sy^3dx}{p}$ affectée de quelques constantes. En effet, on peut trouver l'étenduë de toutes les coupes de la carène qui sont paralleles à AEB par cette analogie; le quarré $\overline{FB}^2$ de la demi-largeur FB est à l'étenduë de la coupe AEB, comme le quarré y^2 de toutes les autres demi-largeurs est à l'étenduë $\frac{AEB}{\overline{FB}^2} \times y^2$ des coupes correspondantes. Et si après

Fig 54. avoir multiplié cette étenduë par l'épaisseur infiniment petite dx, qui est la distance d'une coupe à l'autre, pour avoir l'élement $\frac{AEB}{\overline{FB}^2} y^2dx$; on fait cette autre analogie fondée encore sur la ressemblance des coupes, la demi-largeur FB est à FK, ainsi la demi largeur y des autres coupes est à la quantité $\frac{FK}{FB} \times y$ dont leur centre de gravité est au-dessous de la surface de l'eau, & qu'on multiplie l'élement $\frac{AEB}{\overline{FB}^2} \times y^2dx$ par cette quantité $\frac{FK}{FB} \times y$, on aura $\frac{FK \times AEB}{\overline{FB}^3} \times y^3dx$ pour le moment de chaque élement par raport à la surface de l'eau, & l'intégrale $\frac{FK \times AEB}{\overline{FB}^3}$ Sy^3dx sera le moment de toute la carène. Il faut ensuite, selon le principe de la Statique, diviser ce moment par la solidité p, & le quotient $\frac{FK \times AEB \times Sy^3dx}{\overline{FB}^3 \times p}$ marquera la quantité $F\Gamma$, dont le centre de gravité Γ de la carène est enfoncé dans l'eau. Mais on voit en comparant cette valeur avec celle de $\frac{2Sy^3dx}{3p}$ de Γg découverte ci-devant, qu'elles sont l'une à l'autre comme $\frac{FK \times AEB}{\overline{FB}^3}$ est à $\frac{2}{3}$, ou comme $FK \times AEB$ est à $\frac{2}{3} \times \overline{FB}^3$; & qu'ainsi on peut faire la proportion mentionnée ci-devant, $FK \times AEB \mid \frac{2}{3} \times \overline{FB}^3 \parallel F\Gamma \mid \Gamma g$. De cette proportion on en déduit l'équation ou la formule $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3} \times F\Gamma \times \overline{FB}^3}{FK \times AEB}$ dont on peut retrancher, si on le veut, $F\Gamma$; & il viendra $Fg = \frac{\frac{2}{3} F\Gamma \times \overline{FB}^3 - F\Gamma \times FK \times AEB}{FK \times AEB}$ qui exprime la plus grande hauteur que peut avoir le centre de gravité du Navire au-dessus de la surface de l'eau.

CHAP.

CHAPITRE IV.

Application des formules précédentes à quelques figures, & premierement au Navire formé en parallelipipede rectangle.

I.

AFIN de ne pas laiſſer ce que nous venons de dire, ſans quelque application, propoſons-nous d'abord la figure la plus ſimple de toutes; propoſons-nous un Bâtiment formé en parallelipipede rectangle, comme l'Arche de Noé, ou comme les deux Navires que fit bâtir au commencement de l'autre ſiécle Pierre Janſſe de Horne, leſquels étoient peu différens des Vaiſſeaux Chinois. Toutes les coupes verticales de la carène ſeront non-ſeulement ſemblables, mais égales; ce qui ſera cauſe que les centres K & Γ ſeront exactement les mêmes : D'un autre côté l'étenduë de la coupe AEB (Fig. 56.) ſera le produit de la largeur AB par ſa hauteur FE; & introduiſant ce produit à la place de AEB; & $\frac{1}{2}$ FE à la place de FΓ dans la formule $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3} F\Gamma \times \overline{FB}^3}{FK \times AEB}$, on la changera en $\Gamma g = \frac{\frac{1}{3} FE \times \overline{FB}^3}{\frac{1}{2} FE \times AB \times FE} = \frac{\overline{FB}^2}{3 FE}$. Fig. 56.

Ainſi pour trouver dans un pareil Navire la plus grande hauteur Γ*g* à laquelle on peut mettre ſon centre de gravité au-deſſus du centre de gravité ou du milieu Γ de la carène; il n'y a qu'à faire cette ſimple analogie, *le triple de la profondeur* FE *de la partie ſubmergée eſt à ſa demi-largeur* FB, *comme cette même demi-largeur eſt à la hauteur requiſe* Γ*g*. S'il s'agiſſoit en particulier de l'Arche de Noé, dont la la largeur étoit de 50 coudées, & qu'on ſupoſât que ce Bâtiment enfonçoit dans les eaux du déluge de 10 coudées, on trouvera que le métacentre *g* étoit élevé de 20 $\frac{5}{6}$ coudées au-deſſus du centre de gravité de la carène;

Digitized by Google

& par conséquent de $15\frac{5}{6}$ au-dessus de la surface de la Mer, & de $25\frac{5}{6}$ au-dessus du fond de la cale. Il étoit difficile que le centre de gravité se trouvât porté à une si grande élevation ; puisque toute l'Arche n'avoit que 30 coudées de hauteur, & qu'on eut sans doute l'attention de mettre en bas les choses les plus pesantes. Ainsi l'inclinaison de ce Bâtiment ne pouvoit jamais devenir trop grande ; il n'y avoit rien à craindre de ce côté pour les précieux restes du genre humain.

II.

Déterminer le Métacentre, lorsque toutes les coupes de la Carène faites perpendiculairement à sa longueur, sont des triangles.

Si les coupes AEB de la carène (Fig. 54.), au lieu d'être
Fig. 54. des rectangles, sont de simples triangles, comme nous croyons qu'il seroit avantageux qu'elles le fussent dans les Corvettes, il sera tout aussi facile de déterminer le métacentre. Ne considerons, pour plus de simplicité, qu'un seul triangle, & suposons qu'il est rectangle en E, ou que sa base AB qui se trouve dans la surface de l'eau, est double de sa hauteur FE ; son étenduë AEB sera égale au quarré de AF ou de FB, & les centres K & Γ concourront dans le même point, & se trouveront au tiers de FE. Ainsi la formule $\Gamma g = \frac{2}{3} \times \frac{F\Gamma \times \overline{FB}^3}{FK \times AEB}$ se changera en $\Gamma g = \frac{2}{3} \times \frac{FB^3}{FB^2} = \frac{2}{3} FB$, ce qui nous aprend cette proprieté singuliere du triangle rectangle, *que son métacentre est autant au-dessus de la surface de l'eau que son centre de gravité est au-dessous.*

Si nous considerons donc maintenant une carène faite en conoïde ou en sphéroïde triangulaire, formé de triangles rectangles verticaux, arrangés, tout le long de son axe suposé horisontal, nous aurons autant de métacentres que de triangles, & tous ces points formeront une ligne courbe qui sera située précisément de la même maniere

Digitized by Google

par raport à la ſurface de l'eau, mais en deſſus, que le ſera en deſſous la ligne courbe que forment tous les centres de gravité des triangles. Mais de même que de tous les centres de gravité il s'en forme un qui eſt le centre de gravité commun, tous les métacentres doivent auſſi ſe réduire à un ſeul qui ſera le métacentre commun, & qui doit être encore placé au-deſſus de l'eau, comme l'autre point l'eſt au-deſſous. Ainſi on voit cette vérité qui peut devenir très-importante, que, *lorſque toutes les coupes de la carène faites perpendiculairement à ſa longueur, ſont des triangles rectangles qui ont leur angle droit en bas, le métacentre eſt élevé au-deſſus de la ſurface de l'eau, préciſément de la même quantité dont le centre de gravité de la carène ſupoſée homogène, eſt plongé au-deſſous de la même ſurface.* Si tous les triangles donnent à la prouë & à la poupe une figure exactement piramidale, ou que toute la carène ſoit elle-même une piramide quadrangulaire, dont le ſommet eſt en bas, le métacentre dans ce cas particulier, ſera donc élevé au-deſſus de la ſurface de la Mer d'une quantité égale au quart de la profondeur de la carène, ou de la huitiéme partie de ſa plus grande largeur.

III.

Trouver le Métacentre, lorſque le Navire eſt un ellipſoïde.

Nous prendrons pour troiſiéme exemple, un Navire, dont toutes les coupes verticales de la carène faites perpendiculairement à ſa longueur, ſont des ellipſes ſemblables, ou dont le corps entier de la carène eſt un ellipſoïde. On pourra ſouvent attribuer cette figure aux Vaiſſeaux, quoiqu'on ne le puiſſe pas faire également, lorſqu'il s'agit de la viteſſe de leur ſillage, ou de quelqu'autre proprieté de leur mouvement, qui tient à des circonſtances plus délicates. On doit cette différence à la relation étroite qu'il y a entre la recherche préſente, & la détermination des centres de gravité. On ſçait que ces

sortes de centres ne reçoivent que très-peu de changement, quoiqu'on change assez considérablement les figures ausquelles ils appartiennent.

Si on prend r & q pour exprimer le raport du rayon du cercle au quart de sa circonference, & qu'on cherche
Fig. 54. l'étenduë AEB (Fig 54.) par raport au rectangle de AB par EF, & les quantités FK & FΓ par raport à FE, on aura $AEB = \frac{q}{2r} AB \times FE = \frac{q}{r} FB \times EF$; $FK = \frac{2r}{3q} FE$, & $F\Gamma = \frac{3}{8} FE$; & introduisant ces valeurs dans la formule $Fg = \frac{\frac{2}{3} F\Gamma \times \overline{FB}^3 - F\Gamma \times FK \times AEB}{FK \times AEB}$, on la changera en cette autre $Fg = \frac{3}{8} \times \frac{\overline{FB}^2 - \overline{FE}^2}{FE}$, qui est, comme on le voit, extrémement simple.

Il ne sera donc pas difficile, lorsque la carène sera un ellipsoïde, de déterminer le *métacentre* g, au-dessous duquel la sureté de la Navigation exige que le centre de gravité du Vaisseau soit toujours. *Après avoir pris les trois huitiémes de l'excès du quarré de* FB, *demi-largeur de la carène sur le quarré* $\overline{FE}^2$ *de la profondeur, il n'y aura qu'à le diviser par la profondeur même, & il viendra au quotient la quantité* Fg, *dont le point* g *sera au-dessus de la surface de l'eau.* Ce point sera au-dessus de la surface de la Mer, lorsque Fg sera positive ; ce qui arrivera, quand FB sera plus grande que FE, ou que la largeur de la carène sera plus grande que le double de la profondeur. Le point g sera au-dessous de la surface de l'eau, lorsque Fg sera négative, ou lorsque la demi-largeur FB sera moindre que la profondeur FE. Enfin, le point g sera dans la surface même de l'eau, quand Fg sera nulle ; ce qui arrivera, lorsque la demi-largeur de la carène sera exactement égale à la profondeur, ou lorsque la coupe AEB sera un demi-cercle ; & c'est ce qui est conforme à ce que nous sçavions déja.

Digitized by Google

CHAPITRE V.

Recherches plus étenduës ſur les Métacentres, & ſur la ligne courbe que forment ces points, lorſque le Navire s'incline.

MAIS quoique les Recherches précédentes ſoient utiles, nous ne devons pas diſſimuler qu'elles ne ſuffiſent pas encore pour nous raſſurer entierement ſur nôtre état; parce que la ſolution que nous avons donnée, eſt limitée au cas trop particulier, dans lequel le Navire n'eſt expoſé tout au plus qu'au choc irrégulier de quelques molecules d'eau ou d'air. S'il étoit ſujet à l'action d'une puiſſance un peu conſidérable, il ſe pancheroit d'une qnantité finie, & il pourroit arriver que la direction *yz* (Fig. 54.) paſſât enſuite au-deſſous du point *g*, qui n'a été déterminée que dans le cas de l'inclinaiſon infiniment petite. Si après cela *yz* paſſoit auſſi au-deſſous du centre de gravité G, il eſt clair que la pouſſée verticale de l'eau travailleroit à faire incliner le Navire, & qu'il verſeroit infailliblement. On n'a que trop ſouvent des exemples de ce dangereux accident. Certains Navires conſervent bien leur ſituation horiſontale tant qu'ils ſont dans le Port : mais auſſi-tôt que quelque puiſſance un peu forte, comme l'impulſion du vent ſur les voiles, les fait pancher d'une quantité un peu grande, ils ne ſe relevent que très-difficilement; & ce qui eſt le comble du malheur, puiſqu'il faut périr, ils continuent quelquefois à s'incliner, quoique la cauſe qui a fait commencer leur inclinaiſon, ceſſe d'agir. Ainſi il eſt abſolument néceſſaire, pour une parfaite ſureté de la Navigation, d'examiner ſi le métacentre ne deſcend pas, à meſure que le Navire perd ſa ſituation horiſontale. Fig. 54.

On a prouvé à la fin du premir article du Chapitre III.

Fig. 54. que le Navire ne peut pas s'incliner, sans que le centre de gravité de la partie submergée change de place, en avançant vers le côté de l'inclinaison, & que la petite distance des deux centres de gravité, est parallele à la surface de l'eau. La démonstration qu'on a donnée est générale, & convient aussi-bien au cas où la carène est un corps irrégulier des deux côtés, que lorsqu'elle a une figure réguliere. Il suit de-là que les centres de gravité de toutes les différentes parties submergées, lorsque le Navire est en différentes situations, sont sur une ligne courbe ΓH (Fig. 57 & 58.) dont chaque petite partie est parallele à la surface de l'eau dans chaque situation. C'est-à-dire que lorsque le Navire est de niveau, & que AEB est la partie submergée, le centre de gravité de cette partie est en Γ, & la petite partie Γγ de la courbe ΓH, est parallele à la surface AB de l'eau, comme on l'a démontré. Mais si le Navire, en s'inclinant de plus en plus, se plaçoit de sorte que *AB* se trouvât horisontale & dans la surface de l'eau, le centre de gravité Γ, après avoir passé par tous les points de la courbe ΓH, & avoir toujours avancé parallelement à la surface de l'eau dans chaque situation, se trouveroit en H, & la petite partie de la courbe qui est en cet endroit, seroit encore parallele à *AB*. Ainsi lorsque la poussée verticale de l'eau se réünit dans le centre de gravité H de la partie submergée *AEB*, & qu'elle s'exerce selon une ligne exactement verticale HP ; cette direction HP, qui est perpendiculaire à la surface *AB* de l'eau, le doit être aussi à la courbe ΓH au point H. C'est la même chose dans toutes les autres situations ; de sorte que c'est un Théoreme général que *la poussée de l'eau agit toujours selon les perpendiculaires à la courbe qui est le lieu géométrique des centres de gravité dans lesquels elle se réunit*. Il est clair aussi que toutes ces directions doivent former en haut par leur concours une autre courbe NgM, qu'on peut nommer *métacentrique*, dont nous ne connoissons encore que le point *g*, & qui est la dévelopée de la courbe ΓH.

Digitized by Google

Ainsi si on se proposoit un certaiun Vaisseau OEC (Fig. 56, 57 & 58.) & qu'on voulût sçavoir si on y sera en sureté, après avoir mis son centre de gravité au-dessous du point g déterminé par la Méthode du Chapitre III. il faudroit chercher d'abord toutes les parties comme *AEB*, qui sont égales en solidité à la carène AEB. Dans la supposition que la carène fût un parallelipipede rectangle, comme dans la Figure 56, & pourvû que ses angles inférieurs ne sortissent pas de l'eau par la grandeur de l'inclinaison, les lignes droites AB, *AB*, &c. qui retranchent les parties submergées AEB, *AEB*, &c. de même solidité, passeroient toutes par le même point F: au lieu que si les deux flancs OE & CE, étoient des lignes droites qui formassent un angle en E au fond de la carène, les droites *AB*, AB, &c. qui retranchent des segmens de même étenduë, seroient tangentes à une hyperbole, qui auroit les deux droites OE & CE pour Asymptotes; & le point d'atouchement seroit au milieu de ces lignes *AB*, AB; parce qu'il est toujours dans le centre de gravité des lignes droites, ou des plans qui retranchent les segmens de même étenduë, ou de même solidité. Fig. 56, 57, & 58.

On chercheroit ensuite *le lieu* $\Gamma\gamma$H des centres de gravité de tous ces segmens, ou parties égales *AEB*, AEB, &c. ce qu'on pourroit faire en cherchant la distance de ces centres à la ligne EZ, & à une autre ligne perpendiculaire. Lorsque les flancs OE & CE seront des lignes droites, & que la courbe F*F* qui touche continuellement la surface de l'eau, sera une hyperbole, la courbe $\Gamma\gamma$H sur laquelle se trouve tous les centres de gravité Γ, γ, H, &c. sera aussi une hyperbole. Pour le dire plus généralement; (car les flancs de la carène en lignes droites, n'ont cette proprieté que parce qu'ils forment un angle qu'on peut regarder comme une hyperbole, dont l'axe déterminé est infiniment petit;) toutes les fois que OEC sera une section conique, F*F* en sera aussi une asymptotique de la premiere, & la courbe $\Gamma\gamma$H en sera encore

Digitized by Google

Fig. 56, 57 & 58. une asymptotique des deux autres. Or la question sera réduite après cela à la Géométrie pure; puisqu'il ne s'agira que de chercher la situation des perpendiculaires à la courbe ΓH, & de découvrir les symptomes de sa dévelopée, la *métacentrique* N*g*M, dont on connoît déja le point *g*; de sçavoir si cette dévelopée monte ou descend, & de découvrir tous les points où elle coupe l'axe.

Nous n'insistons pas sur le cas trop simple, dans lequel la coupe OEC est un cercle; il est évident que *le lieu* des centres de gravité Γ, γ, est alors un cercle concentrique, & que la *métacentrique* se réduit à un seul point *g*. Mais le Problême se trouve déja résolu dans le peu qu'on vient de dire pour toutes les figures dont il a été question. Si les deux flancs OE & CE de la carène sont des lignes droites qui forment un angle en E, ou plus généralement, si les deux flancs sont formés par une hyperbole, dont E est le sommet, les centres de gravité de toutes les parties submergées, formeront une hyperbole; & sur ce qu'on sçait de la dévelopée de cette courbe, on peut assurer que la poussée de l'eau s'exercera sur des directions qui couperont l'axe EZ dans des points toujours plus élevés; & qu'ainsi cette puissance acquerera de plus en plus une plus grande force relative pour s'oposer à l'inclinaison, ou pour relever le Navire. La même chose arrivera lorsque la carène aura la forme d'un parallelipipede rectangle, comme l'Arche de Noé. Car il est facile de s'asseurer que *le lieu* des centres de gravité des parties submergées, est une parabole, dont on sçait que la dévelopée va toujours en s'éloignant de l'axe & du sommet. Si la carène est un ellipsoïde, & que la coupe AEB faite perpendiculairement à sa longueur, soit un ellipse, dont le grand axe soit vertical, tous les centres de gravité des parties submergées seront aussi sur une ellipse, dont la dévelopée sera encore disposée de la façon convenable. Mais comme le premier point *g* qui servira d'origine aux deux branches de la dévelopée ou de la *métacentrique*, seroit souvent trop bas, on pourroit, au lieu de donner

Digitized by Google

donner à la coupe AEB la forme d'une demi-ellipse, lui Fig. 17.
donner la figure d'un segment plus petit que la moitié. On seroit obligé de s'engager pour la plûpart des autres figures, dans des discussions longues & difficiles : mais on peut se contenter presque toujours d'examiner la chose généralement.

La Méthode que nous avons expliquée dans le Chapitre III. pour trouver la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité de la partie submergée de la carène, est d'ailleurs aplicable dans tous les cas. Il n'y a toujours qu'à considerer le plan de la flotaison ou de la tranche du Navire faite à fleur d'eau, lorsque le Navire est incliné : l'axe ou le plus grand diametre de ce plan, ne le partagera plus par la moitié, vû son irrégularité ; mais il faudra faire passer cet axe par le centre de gravité F du plan, afin que les deux petits solides, celui qui entre dans l'eau & celui qui en sort, & qui sont représentés par *a*FA & BF*b*, soient toujours égaux, & que la solidité de la partie submergée de la carène soit exactement la même, lorsque le Navire est incliné, & lorsqu'il l'est un peu plus. Si on désigne après cela par deux différentes lettres y & v, toutes les lignes AF & BF, qui sont comme les demi-largeurs de la carène des deux côtés de l'axe, les deux quantités désignées par Sy^3dx, ne seront plus égales ; pendant que cette expression sera bonne pour un des côtés de l'axe, on aura Sv^3dx pour l'autre : & si on fait le calcul tout au long, au lieu de $\Gamma g = \frac{2Sy^3dx}{3p}$, on trouvera $\Gamma g = \frac{Sdx \times \overline{y^3 + v^3}}{3p}$; formule dans laquelle dx marque toujours les parties infiniment petites de la longueur du Navire, & p la solidité de sa partie submergée entiere.

Enfin il résulte principalement des réflexions précédentes, que tant qu'on ne travaillera pas à procurer aux Navires une situation constamment horisontale, en disposant leur mâture selon les régles que nous en avons données ailleurs, & que nous donnerons encore d'une maniere succinte dans le Livre suivant ; il ne suffit pas, com-

Digitized by Google

Fig. 57. me on le fait maintenant dans la Marine, de mettre l'endroit le plus gros du Navire à fleur d'eau, ou très-peu audessus : mais qu'on doit faire ensorte que la carène augmente de largeur, ou qu'elle conserve au moins la même jusqu'à l'endroit où elle enfonce dans l'eau, lorsque le Navire s'incline le plus. L'inclinaison peut aller jusqu'à 10 ou 12 degrez, & même plus loin dans les petits Navires, lorsque le vent charge les voiles avec force. Nous souhaiterions donc que la partie *A*A des flancs du Vaisseau qui est alors sujette à entrer dans la Mer, & qui est de 4 ou 5 pieds dans les Vaisseaux du premier rang, & de 3 ou 4 dans les Navires de deux à trois cens tonneaux, où fût presque droite, ou qu'elle eût quelque saillie en dehors; & que ce ne fût qu'au-dessus du point *A* que le flanc commençât à rentrer en-dedans, & le Navire à se retrecir. Par ce moyen la courbe ΓH deviendroit à peu près une hyperbole, ou au moins une parabole vers les deux extrémités, & les branches *g*N, *g*M de la métacentrique N*g*M qui en feroit la dévelopée, iroient en montant audessus du métacentre *g*. Toutes les fois que l'inclinaison augmenteroit, le centre de gravité du Vaisseau s'écarteroit ensuite de la direction HP de la poussée de l'eau, pendant que cette direction s'éloigneroit en son particulier de ce centre par son progrès vers le côté de l'inclinaison ; & tout contribueroit donc à rendre plus long le bras du levier auquel est apliquée cette force avec laquelle l'eau pousse continuellement en haut. Nous convenons que le changement que nous indiquons, & auquel on se trouve également conduit par toutes les remarques qui tendent à perfectionner les autres parties de la construction, fera dans les commencemens perdre aux Vaisseaux beaucoup de leur grace aux yeux des Marins; mais à cela on ne sçauroit que faire ; la Géométrie est une science impérieuse, & c'est à nous à trouver beau tout ce qu'elle nous prescrit.

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

Reconnoître ſi dans les Vaiſſeaux qu'on ſe propoſe de conſtruire, le centre de gravité ſera effectivement au-deſſous du métacentre, ou du terme qu'on vient de déterminer.

SI on veut maintenant tirer la plus grande utilité poſſible pour la pratique de la Théorie expliquée dans les Chapitres précédens, il faut chercher par la diſcuſſion de toutes les parties du Vaiſſeau qu'on ſe propoſe de conſtruire, la ſituation qu'aura ſon centre de gravité. Ce centre doit être néceſſairement au-deſſous du métacentre, ou au-deſſous de ce terme qu'on connoît déja, ou qu'on a au moins les moyens de connoître. Mais eſt-il ſur qu'il y ſera réellement; & n'eſt-ce pas une choſe trop importante pour ne pas l'examiner avec ſoin: au lieu d'attendre, comme on y a été réduit juſqu'à préſent dans la Marine, que le bon ou le mauvais ſuccès fît connoître ſi les meſures qu'on avoit priſes, étoient juſtes ou fauſſes? Il n'eſt plus queſtion ici du Navire conſideré comme un corps Géométrique ou homogène, ni de la peſanteur qu'il doit avoir par raport au volume d'eau dont il occupera la place; mais de celle qu'il aura effectivement par l'aſſemblage de ſes membres, & de toutes les parties hétérogènes qui doivent le compoſer.

Le détail dans lequel il faut entrer, & qui paroît immenſe, peut d'abord effrayer; mais outre qu'il n'a d'autre difficulté que ſa longueur, il s'en faut beaucoup qu'il ſoit auſſi long qu'on eſt porté à le croire à la premiere vûë. Toutes les parties du Vaiſſeau qu'on ſe propoſe de conſtruire, ſont comptées, leurs dimenſions ſont déterminées d'avance, & s'il faut des jours & des ſemaines à un grand nombre d'Ouvriers pour achever de donner à chacune la

forme qu'elle doit avoir, il ne faut, à l'aide d'un Plan, ou d'un Devis exact, qu'un instant au Géométre exercé pour trouver la solidité & la pesanteur de ces mêmes piéces. Il peut mettre ensemble toutes celles qui sont de même espece; joindre tous les baux, chercher en même tems la solidité de toutes les courbes, de tous les bordages; faire une somme de la pesanteur de tous les Canons de la même baterie. On peut s'aider dans tout cela des Tarifs qu'on a déja dans tous les Ports : on examinera en même tems le centre de gravité de chaque piéce; & on réussira de cette sorte avec assez peu de travail, à résoudre un des Problêmes, dont la solution peut contribuer le plus à perfectionner la construction.

Mais on verra après tout, comme je viens de le dire, que la difficulté n'est pas si grande qu'elle paroît d'abord. C'est ce que j'ai reconnu, après en avoir fait l'essai sur une Frégate que j'ai vû construire au Havre-de-Grace, & ensuite sur différens Vaisseaux, en suposant les dimensions que je sçai qu'on leur donne le plus ordinairement. La Frégate dont je parle, nommée la Gazelle, avoit 80 pieds de quille, & 25 pieds de bau, ou de plus grande largeur. On avoit déja commencé à la construire, lorsque je travaillai à l'examen dont je vais rendre compte : mais elle n'étoit encore, pour parler en terme d'art, formée qu'en *bois torts;* c'est-à-dire qu'elle n'avoit que ses membres, sans avoir de bau ni de bordage.

De la pesanteur de toutes les parties de la Frégate du Roy, nommée la Gazelle.

La quille de cette Frégate avoit 1 pied de largeur & $13\frac{1}{2}$ pouces de hauteur, ou d'épaisseur moyenne; ce qui, avec les 80 pieds de longueur, donne 90 pieds cubiques de solidité. Les deux parties de la contre-quille étoient de $29\frac{2}{3}$ pieds cubiques; l'étambot avoit 22 pieds de hauteur sur 12 pouces d'épaisseur & 15 pouces de largeur moyenne, ce qui faisoit $27\frac{1}{2}$ pieds cubiques. Le contre-étambot étoit de 11 pieds cubiques : La courbe qui sert

Digitized by Google

à lier cette piéce avec la quille, de 9 pieds; la lisse d'hourdy de 26½. Les 10 montans d'écusson, dont la longueur moyenne étoit de 5 pieds sur 15 pouces en quarrés, étoient ensemble de 110 pieds cubiques, & les estains de 57. L'étrave étoit de 25 pieds cubiques: la contre-étrave de 11⅔, & les huit alonges d'écubier étoient de 99 pieds. Enfin il y avoit 58 couples qui avoient 52 pieds de contour moyen, en comprenant les varangues, les genoux & les alonges; elles avoient 1 pied de largeur moyenne, & un demi-pied d'épaisseur; de sorte qu'elles étoient ensemble de 1508 pieds cubiques. Or toutes ces parties font 2005 pieds cubiques, & c'est dont la quantité de *bois net** qui entroit dans la construction de la Frégate dont il s'agit, lorsqu'elle n'avoit encore que ses membres, & qu'elle n'avoit ni bau ni bordage.

Il ne me restoit plus après cela, pour découvrir la pesanteur de la Frégate dans l'état où elle étoit, qu'à sçavoir le poids du pied cubique de bois de chêne. Savot a trouvé qu'il pese 60 livres; mais lorsque ce bois est bien nourri, il pese le plus souvent 66 ou 68 livres, & je me servirai de 66, parce que c'est le poids moyen que j'ai trouvé, en faisant peser plusieurs piéces dont je connoissois exactement la solidité. Les 2005 pieds cubiques pesoient donc 132330 livres; mais il faut encore ajouter 2029 pour le fer qu'on avoit employé en chevilles & en goujons, qu'on avoit eu le soin de peser exactement chaque fois. Ainsi c'est en tout 134359 livres, ou un peu plus de 67 tonneaux. Il est bon de sçavoir que tant que les Navires ne sont encore qu'en bois tords, il n'y a gueres qu'une livre ou une livre & demie de fer pour chaque pied cubique de bois; mais que comme on est ensuite obligé de le multiplier, en mettant une grande quantité de cloux pour tenir les bordages & les autres piéces, il se trouve à la fin de tout l'ouvrage, qu'il y a au moins deux livres ou deux livres & demie de fer pour chaque pied cubique. De sorte que celui qui entre dans la construction d'un Vaisseau, augmente au moins sa pesanteur

* Il faut de bois *brut* une moitié de plus; c'est-à-dire que pour tirer 2000 pieds cubiques de bois travaillé, il faut en employer environ 3000. Mais les Ouvriers commettent souvent sur cela de grands abus, parce qu'il est d'usage que les copeaux leur appartiennent.

Digitized by Google

d'une trentiéme partie. Ce n'est pas tout-à-fait la même chose en Angleterre ; car l'usage s'y est introduit d'employer beaucoup de chevilles de bois dans la construction de certains Navires.

Si l'on fait le même calcul pour des Vaisseaux de 120 & de 140 pieds de quille, on verra qu'ils sont plus pesans à proportion; ce qui vient de ce que leurs membres & les autres parties sont non-seulement formées de plus grosses piéces de bois; mais de ce qu'il y en a aussi un plus grand nombre. Si la proportion des cubes étoit exactement observée, un Vaisseau dont la quille est de 120 pieds, ne devroit avoir que 6767 pieds cubiques de bois tords, à proportion de la Frégate de 80 pieds de quille, qui en a 2005; mais il en entre plus de 8000 pieds dans la construction d'un pareil Vaisseau. La différence se manifeste encore davantage à la fin de tout l'ouvrage; les Vaisseaux qu'on appelle du premier & du second rang, ayant toujours trois ponts, au lieu que les autres n'en ont que deux, & quelquefois qu'un; ce qui doit certainement empêcher que leur pesanteur suive des degrés réglés. Ainsi quand même il seroit possible que les Constructeurs s'accordassent à donner les mêmes grosseurs aux piéces de bois, ce ne seroit toujours qu'en comparant les seuls Vaisseaux de même classe, qu'on pourroit juger de la pesanteur de l'un par celle de l'autre.

Mais pour revenir à notre Frégate, on peut supputer avec la même facilité la solidité & la pesanteur de toutes les autres piéces qui entrent dans sa construction, comme des baux, des courbes, des bordages, &c. & on sçaura donc de cette sorte la pesanteur qu'elle aura dans tous ses différens états, comme lorsqu'elle est prête à lancer à l'eau, ou lorsqu'elle est entierement construite. Pour pouvoir la mettre à l'eau, il faut au moins que le bordage soit poussé jusqu'à la hauteur du pont. Elle pesera alors au moins 100 tonneaux; mais elle pourra peser davantage : car si les Constructeurs n'attendent jamais que leurs Navires soient entierement achevés pour les

Digitized by Google

mettre à la Mer, il dépend d'eux de laisser plus ou moins d'ouvrage à faire. Enfin si on entre dans le détail de la solidité de toutes les piéces, on verra qu'il faut, pour achever la Frégate, environ 4180 pieds cubiques de bois, dont il y en aura environ une dixiéme partie de sapin. La pesanteur de ce dernier bois est beaucoup plus variable que celle de chêne, à cause du plus ou du moins de résine qu'il contient. Quelques personnes ont trouvé qu'il pese 40 ou 44 livres le pied, au lieu que dans quelques expériences que j'ai faites, j'ai trouvé qu'il pesoit seulement 35 livres. J'ai pris le milieu : & il m'est venu 267212 livres ou 133 $\frac{1}{2}$ tonneaux pour la pesanteur des 3762 pieds pieds cubiques de chêne & des 418 de sapin; à quoi ajoutant une trentiéme partie pour la pesanteur du fer, il vient 138 tonneaux pour le poids total du Navire, lorsqu'il est entierement construit, & qu'il ne lui manque plus que sa mâture.

On peut sçavoir également la pesanteur des mâts, des vergues & de tous les agréils. La mâture est presque toujours de sapin, & on peut, pour la facilité des calculs, suposer que chaque mât est un tronc de conoïde parabolique, quoique les côtés soient pour l'ordinaire des portions d'ellipses. Le grand mât devoit avoir, selon les régles vulgaires, 63 ou 64 pieds de hauteur. Son diamétre au travers du pont, devoit être de 18 $\frac{1}{4}$ pouces, & à son sommet de 12 $\frac{1}{2}$ pouces. Si on cherche l'étenduë des deux cercles qui ont ces diametres, & si prenant une étenduë moyenne, on la multiplie par 63 pieds de longueur du mât, on verra que sa solidité est d'environ 87 pieds cubiques, & qu'il pese environ 3480 livres. Faisant la même chose pour tous les autres mâts, & pour les vergues dont on peut considerer aussi chaque moitié comme un tronc de conoïde parabolique, dont une des bases n'a de diametre que le tiers de l'autre, on trouvera que toute la mâture pese environ 8 tonneaux.

Toutes les manœuvres ont de même leur longueur & leur grosseur déterminées. Cette grosseur s'exprime ordi-

nairement dans la Marine par la circonference du cordage mesurée en pouces, & j'ai remarqué, comme je l'ai déja dit dans le premier Livre, que la pesanteur moyenne en livres qu'a un pied de cordage, est égale à la vingt-cinquiéme partie du quarré de sa grosseur, ou que la pesanteur de 5 brasses (c'est-à-dire de 25 pieds) est égale au quarré même de la grosseur. Si un cordage a, par exemple, 10 pouces de circonference, une portion longue de 5 brasses, ou de 25 pieds, pesera 100 livres, qui est le quarré de 10 ; & une portion d'un pied pesera seulement 4 livres, qui est la vingt-cinquiéme partie de ce quarré. Cette régle qui est assez exacte pour tous les cordages qu'on fait en France, peut tenir lieu de Tarif, & si on l'applique à toutes les manœuvres de la Frégate que nous examinons, on trouvera que le poids de ses agréils, y compris les cables, est d'environ 20 tonneaux. Enfin, ajoutant encore 4 pour la pesanteur des ancres qu'on peut toujours connoître très-exactement, il viendra 170 tonneaux pour la pesanteur totale de la Frégate, sa mâture & tous ses agréils compris.

Détermination du centre de gravité de la même Frégate.

En même tems qu'on fera les calculs précédens, on pourra chercher la situation du centre de gravité. Il faut, pour découvrir cette situation par raport à un certain terme, multiplier, comme nous l'avons deja dit, la pesanteur de chaque partie par la distance particuliere de son centre de gravité à ce terme, & diviser la somme de tous ces produits ou momens, par la somme des pesanteurs.

Comme on prend ordinairement pour la hauteur de toutes les parties du Vaisseau, la quantité dont elles sont élevées au-dessus de la quille, on peut se servir de cette même hauteur pour découvrir le centre de gravité. On multipliera donc la pesanteur de chaque partie par sa hauteur au-dessus de la quille : on rassemblera le plus qu'on pourra, plusieurs parties ensemble, afin d'abréger l'opération,

tion; on joindra, par exemple, tous les baux, & comme ils ne font pas tous également élevés au-deffus de la quille, on prendra leur hauteur moyenne. Enfin faifant une fomme de tous ces produits, il ne reftera plus qu'à la divifer par celle des pefanteurs, & on aura la hauteur du centre de gravité. Je l'ai trouvée par cette méthode pour la Gazelle de $7\frac{1}{6}$ pieds, lorfque cette Frégate eft fans agréil, & qu'on ne confidere que fon propre corps qui pefe 138 tonneaux.

En mâtant la Frégate, & en lui donnant toutes fes manœuvres, le centre de gravité ne peut pas manquer de s'élever confidérablement. Celui des cordages eft au milieu de leur longueur: mais comme les mâts ne font pas de même groffeur par leur fommet que par le bas, leur centre de gravité n'eft pas tout-à-fait au milieu de leur hauteur; & il doit fe trouver aux $\frac{17}{39}$, s'il eft permis de les confiderer comme des troncs de conoïdes paraboliques, qui n'ont en haut que les $\frac{2}{3}$ du diametre qu'ils ont en bas. On pourroit chercher féparément combien chaque partie des agréils fait changer le centre de gravité total, en partageant la diftance de ce centre au centre particulier de chaque partie réciproquement aux poids. Mais il vaut mieux, ce me femble, employer la méthode générale, en cherchant toujours les momens par raport à la quille prife pour terme. Tout le corps du Bâtiment pefe 138 tonneaux, & fon centre de gravité eft élevé de $7\frac{1}{6}$ pieds au-deffus de la quille; fon moment eft donc de *989*: mais celui de la mâture & de toutes les manœuvres fera prefque auffi grand, malgré leur peu de pefanteur, parce qu'elles font extrémement élevées au-deffus de la quille par raport aux autres parties. Je trouve *925* pour leur moment particulier; lequel ajouté à *989*, donne 1914 pour le moment total qu'il ne refte plus qu'à divifer par la pefanteur du Vaiffeau & de fes agréils, qui en tout eft de 170 tonneaux, & il viendra 11 $\frac{44}{170}$ pieds pour la hauteur du centre de gravité du Navire, lorfqu'il eft mâté, & qu'il a tous fes apparaux.

L'Artillerie pesera environ 20 tonneaux, & si on multiplie son poids par sa hauteur au-dessus de la quille, qui doit être à très-peu près de $15\frac{1}{4}$ pieds, on aura son moment 305; & si on l'ajoute à celui 1914 de la Frégate entiere, il viendra 2219 pour la somme, qu'il ne restera plus qu'à diviser par celle des poids; c'est-à-dire par 170 tonneaux, augmentés de 20. On trouvera à très-peu près $13\frac{1}{19}$ pieds pour la hauteur du centre de gravité au-dessus de la quille, lorsque la Frégate a son artillerie montée, & qu'elle a outre cela toutes ses manoeuvres.

Cette hauteur de $13\frac{1}{19}$ pieds est sans doute trop grande, & la Frégate ne pourroit pas se soutenir dans cet état. C'est ce que je n'ai pas cru devoir me donner la peine de vérifier, en cherchant exactement la place du métacentre; sçachant assez que la hauteur de $13\frac{1}{19}$ pieds du centre de gravité devoit diminuer très-considérablement par l'introduction de la charge ou du lest, qu'on ne pouvoit pas se dispenser de mettre dans la cale. La pesanteur de la Frégate considerée actuellement, est de 190 tonneaux, & si sa pesanteur totale, en comprenant sa charge ou son lest, doit être de 400 tonneaux, à proportion de la solidité entiere de la carène ou de toute la partie submergée, ce qu'il est toujours facile de décider; il faudra que la charge soit de 210 tonneaux pour achever de faire caler la Frégate jusqu'à l'endroit convenable. Le centre de gravité de cette charge sera plus ou moins haut, selon qu'elle occupera dans la cale plus ou moins de place, ou selon qu'elle sera d'une pesanteur spécifique plus ou moins grande. On sçaura l'espace qu'elle doit occuper, par la mesure qu'on aura prise des diverses parties de la carène, en retranchant l'épaisseur des flancs, & son centre de gravité pourra être élevé de 3 ou 4 pieds; mais je prends 4 pieds, afin d'avoir le cas moins favorable. Le moment de la charge sera donc de 840; & si on l'ajoute à celui 2219 que nous avons trouvé en dernier lieu, on aura 3059 pour la somme générale de tous les momens particuliers, & la divisant par 400, somme de toutes les pesanteurs, il

Digitized by Google

viendra 7 pieds presque 8 pouces pour la hauteur requise au-dessus de la quille, du centre de gravité de la Frégate toute armée & toute équipée. Lorsque le centre de gravité de la charge sera plus bas, celui de tout le Vaisseau aura encore moins de hauteur; & comme il est déja pour le moins $4\frac{1}{4}$ pieds ou 5 pieds au-dessous du métacentre ou du terme de la plus grande hauteur, il est certain que la Frégate ne pourra pas manquer d'être stable, ni même d'avoir une grande force, pour persister dans sa situation horisontale. C'est d'ailleurs ce qui doit arriver infailliblement dans ces sortes de Navires, dont la pesanteur particuliere n'est pas excessive, & qui peuvent en même tems recevoir un assez grand poids dans leur cale. Cette addition d'un grand poids par en bas, doit toujours faire descendre considérablement le centre de gravité du tout.

De la situation du centre de gravité dans les grands & dans les petits Navires, & de la sureté qu'en reçoit la Navigation.

Mais cet avantage qu'ont les petits Navires, se perd peu dans les plus grands, non pas précisément à cause de leur grandeur; car s'ils avoient des figures parfaitement semblables, & si leur pesanteur étoit aussi distribuée de la même maniere, ils joüiroient toujours des mêmes avantages, & en acquerroient même de nouveaux, comme on l'a vû & comme on le verra encore dans la suite: mais les grands Vaisseaux perdent de leur avantage; parce qu'on les charge beaucoup plus à proportion par en haut, tant par leur grosse artillerie, que par les ponts & les dunettes. Les Vaisseaux du premier rang de 110 ou 120 canons, de 48 pieds de plus grande largeur, & de 148 de quille, peuvent peser avec leur artillerie & tous leurs agréils, ou apparaux, mais sans lest, deux mille trois ou quatre cens tonneaux. Ce poids se trouvera peut-être différent; mais puisque le Constructeur sçait les dimensions

qu'il veut donner à toutes les piéces, on peut toujours découvrir d'avance, aussi exactement qu'il est nécessaire, la pesanteur que doit avoir le Vaisseau. De ces 2300 tonneaux il y en aura 44 pour la mâture, autant pour les cables & les ancres ; 28 ou 30 pour les manœuvres, & environ 300 pour l'artillerie. Toutes ces choses auront différens momens, non-seulement à raison de leurs différens poids, mais aussi à cause de leurs différentes élevations au-dessus de la quille. Ces momens seront environ 70000, & si on divise cette somme par 2300, on trouvera 30 ou 31 pieds pour la hauteur du centre de gravité du Vaisseau sans lest. Cette hauteur, vû les dimensions qu'on donne à la carène, est au moins trop grande de 6 à 7 pieds : Mais quoiqu'on la diminuë extrémement par le lest, qui fait descendre le centre de gravité du tout, on ne peut gueres réussir à mettre ce centre qu'un ou deux pieds au-dessous du métacentre. Car si le volume d'eau déplacée, pese 3500 tonneaux, la pesanteur du lest doit être de 1200 tonneaux, suposé que la pesanteur particuliere du Vaisseau & de ses agréils soit toujours de 2300 : on ne peut pas mettre une plus grande quantité de lest, sans faire caler le Vaisseau davantage, & au-delà du terme qu'on s'est proposé. Mais ce lest, dont le centre de gravité particulier sera au moins élevé de 6 pieds, ne portera pas le centre de gravité commun du tout au-dessous de 22 pieds de hauteur. Ainsi ce dernier centre ne sera que d'environ 2 pieds au-dessous du métacentre ; au lieu qu'il est au moins deux fois plus bas dans les petits Navires.

Il ne coutera rien, en faisant les calculs que nous venons d'indiquer, de s'assurer s'il est avantageux de faire certains changemens à la disposition de la charge, ou à quelqu'une des autres parties qui forment le poids. Nous nous contenterons d'en donner un exemple très-simple, en examinant le choix qu'on peut faire des canons de différens calibres, pour armer les plus grands Vaisseaux. Suposons que la premiere batterie soit formée de chaque

Digitized by Google

côté de 15 canons de bronze de 36 livres de bale, & la seconde de 16 canons de 18 livres, & qu'on demande si l'on peut substituer dans les deux batteries du canon de 24 livres de bale. Il faudra sçavoir la pesanteur de ces canons, y compris leurs affuts; si ceux de 36 livres pesent 6800, & 4200 ceux de 18, les 62 canons des deux batteries complettes peseront 338400 livres, ou environ 169 tonneaux: au lieu que 62 canons de 24 livres, si on les supose également de fonte, ne peseront qu'environ 164 tonneaux. Ainsi il y a d'abord un peu à gagner dans la seconde disposition du côté du poids: nous disons un peu; car à peine le Vaisseau devenu plus leger par la moindre pesanteur de son artillerie, sortira-t-il de l'eau de 3 lignes.

Mais d'un autre côté le centre de gravité des deux batteries formées de canons de 24, sera plus haut: si une de ces batteries est élevée de 8 pieds au-dessus de l'autre, le centre de gravité des deux sera environ 4 pieds 2 pouces au-dessus de la premiere; au lieu que dans le premier cas, ou lorsque la batterie d'en bas sera formée de canons de 36, & la seconde de canons de 18, le centre de gravité ne sera élevé que de 3 pieds 2 pouces; comme on peut s'en assurer, en divisant la hauteur d'une des batteries au-dessus de l'autre, réciproquement à leur pesanteur particuliere. Il pourroit donc y avoir une compensation par la différence de hauteurs dans les centres de gravité; & ce n'est qu'en poussant la discussion encore plus loin qu'on peut se décider. Si le Navire sortoit de l'eau d'une plus grande quantité que de trois lignes dans la seconde disposition, il faudroit calculer le changement que doit souffrir le métacentre; mais on peut négliger ici ce changement, & se contenter de chercher le moment de l'artillerie dans l'un & l'autre cas, par raport au centre de gravité du Navire, ou ce qui revient au même, diviser encore réciproquement aux poids la distance des centres de gravité. On reconnoîtra par l'examen qu'on en fera, que le centre de gravité commun du Vaisseau,

qui se trouve toujours porté un peu en haut par le poids de toutes les parties supérieures, est laissé environ un pouce plus bas dans la premiere disposition; & que les batteries de 36 livres de bale & de 18, quoique plus pesantes, sont donc préférables pour la sureté de la Navigation aux deux de 24.

Ce n'est pas après tout la disposition qui porte le centre de gravité du Vaisseau le plus au-dessous du métacentre, qui est absolument la meilleure. Il faut que le centre de gravité commun, soit au-dessous du métacentre, & soit considérablement au-dessous : c'est une premiere condition qui est indispensable. Mais la stabilité du Vaisseau dépendant aussi de sa pesanteur, a pour *exposant* le produit de cette pesanteur multipliée par la quantité, dont le centre dans lequel elle se réunit, est au-dessous de l'autre point. Pendant que le Navire est parfaitement de niveau, sa pesanteur ne fait aucun effort pour le maintenir dans cet état : mais elle commence à agir aussi-tôt que l'inclinaison commence; & plus le centre de gravité sera au-dessous du métacentre, plus le bras de levier auquel elle sera appliquée, sera long, & plus elle sera donc située avantageusement : en même tems que plus elle sera grande par elle-même, plus elle sera aussi capable de travailler avec efficacité. Ainsi on peut trouver quelquefois un avantage réel à situer le centre de gravité un peu plus haut. On trouve cet avantage toutes les fois qu'on peut augmenter en même tems la pesanteur totale du Vaisseau dans un plus grand raport. Si le Vaisseau du premier rang qui pese 3500 tonneaux, a son centre de gravité deux pieds au-dessous du métacentre, le moment ou la force relative avec laquelle cette pesanteur s'oppose à l'inclinaison, sera 7000, ou pour mieux dire, sera proportionelle à 7000, produit de 3500 par 2 pieds. Mais si en élevant le centre de gravité, on ne le met que $1\frac{4}{5}$ pieds au-dessous du métacentre, & qu'on augmente en même tems la pesanteur totale jusqu'à la rendre de 4000 tonneaux, le moment sera ensuite de 7200; & la

Digitized by Google

feconde difpofition fera préférable à cet égard à la premiere : elle rendra le Vaiffeau plus ftable, dans le même raport que 7200, eft plus grand que 7000.

Il fera toujours facile de cette forte, en mettant à l'épreuve du calcul la figure & les proportions qu'on fe propofe de donner à un Navire, de prévoir quel fera le fuccès de l'entreprife, & de s'épargner toute la peine, toute la dépenfe & toute la honte d'un travail imprudent & inutile. Le Conftructeur ne fera plus fujet à manquer fon ouvrage; au moins de cette maniere groffiere qui deshonore la Marine, & qui ne rend pas fimplement les Vaiffeaux mauvais voiliers; mais qui les condamne à ne jamais fortir du Port. Maintenant que nous fommes en état de connoître le mal, il faut tâcher d'y remedier; ou en changeant quelque chofe dans les dimenfions que nous aurons trouvées mauvaifes, ou en indiquant d'une maniere immédiate & abfoluë, celles qui font les meilleures.

CHAPITRE VII.

Du changement qu'apportent à la fituation du Métacentre les divers changemens qu'on peut faire à la Carène.

I.

POUR juger des changemens que fouffre la hauteur du métacentre, lorfqu'on altere la figure de la carène, il faut qu'on fe rappelle ou les principes établis dans le Chapitre III. de cette Section, ou qu'on jette les yeux fur la formule $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3} S y^3 dx}{p}$ de l'Article IV. de ce même Chapitre. La premiere Remarque qu'elle fugere, c'eft que la hauteur Γg du métacentre g (Fig.

Fig. 54. 54) au-dessus du centre de gravité Γ de la carène, ne dépend que de la grandeur *p* de la carène, & de la figure de la tranche horisontale faite à fleur d'eau, dont *y* désigne les ordonnées, & *x* les parties de l'axe, ou de la longueur du Vaisseau. C'est-à-dire qu'on peut donner une infinité de diverses formes à la carène, sans que la hauteur Γ*g* change en aucune façon. Il suffit pour cela de conserver à la carène toujours sa même solidité, quoiqu'on change sa figure; & de ne point toucher du tout à la coupe horisontale faite à fleur d'eau.

Notre formule nous apprend cette vérité, & on la voit aussi fort aisément sans le secours d'aucune expression algébrique. Aussi-tôt qu'on ne change ni la solidité de la carène, ni la figure de sa coupe horisontale faite à fleur d'eau, le même raport subsiste toujours entre Γ1 & Γ3, de même que celui qui est entre γ2 & γ3, & celui qui est entre 1 2 & Γγ. Ainsi la distance des centres de gravité Γ & γ reste la même; & la hauteur Γ*g* où vont se couper les directions ΓZ & γ*z*, ne doit donc point aussi changer. Mais il faut remarquer expressément que ce n'est que la hauteur respective du métacentre *g* par raport au centre de gravité Γ de la carène, qui ne varie pas. Car selon les diverses formes qu'on donne à la carène, son centre de gravité Γ doit se trouver plus ou moins haut; & puisque le point *g* conserve toujours la même hauteur au-dessus de ce centre, il doit recevoir précisément dans sa hauteur absoluë les mêmes changemens. Comme on ne peut pas donner à la coupe AEB, dont l'étenduë est déterminée, de figure qui éleve plus son centre de gravité Γ, que celle d'un rectangle, il résulte que c'est cette même figure, & celles qui en approchent davantage, qui élevent le plus le métacentre *g*, & qui donnent par conséquent la liberté de mettre plus haut le centre de gravité du Navire, de ses agréils & de tout ce qu'il contient.

II.

Digitized by Google

II.

Lorsqu'on ne change que la longueur du Vaisseau sans toucher à ses autres dimensions, le centre de gravité Γ & le point *g*, doivent rester dans les mêmes endroits: comme cela se voit assez évidemment, nous ne nous y arrêterons pas. Mais nous allons examiner ce qui doit arriver, lorsqu'on change proportionellement toutes les largeurs du Navire, sans changer ni sa longueur, ni sa profondeur.

III.

Lorsqu'on ne touche qu'aux simples largeurs du Vaisseau, & qu'on les change toutes proportionellement, le centre de gravité Γ de la carène, qui nous sert de terme pour juger des changemens que souffre le métacentre *g*, doit rester dans le même endroit, puisque toutes les coupes horisontales de la carène, en augmentant ou en diminuant proportionellement, conservent entr'elles les mêmes raports. Mais la distance 12 des centres de gravité 1 & 2 des solides BF*b* & AF*a*, doit recevoir un changement proportionel à celui que souffre la largeur AB; & aussi-tôt que la distance 12 est sujette à changer, le petit intervalle Γγ le doit être également & en même raport, de même que la hauteur Γ*g*: c'est-à-dire que ces quantités doivent toutes augmenter ou diminuer proportionellement à la largeur AB. D'un autre côté, lorsqu'on augmente ou qu'on diminuë la largeur AB, on ne fait changer la solidité de la carène que dans le raport simple de la largeur : au lieu que les petits solides BF*b*, AF*a*, changent comme le quarré : parce que la petite hauteur BH varie en même raison que FB. Or c'est la même chose quant au raport, que si la solidité de la carène demeuroit constante, & que celle des deux petits solides BF*b*, & AF*a*, ne variât que dans la raison simple des largeurs; & il suit de-là que le petit intervalle 3Γ, doit être plus ou moins grand, eu égard à Γ1 dans la même Fig. 54.

Digitized by Google

Fig. 54. raison; ce qui entraîne le même changement dans $\Gamma\gamma$, & ensuite dans Γg. Il est donc évident que Γg qui est toujours proportionelle à $\Gamma\gamma$, change par deux endroits. Elle change, parce que $\Gamma\gamma$ est plus ou moins grande par raport à 12, selon qu'on augmente ou qu'on diminuë la largeur du Navire; & elle change en second lieu, parce que l'intervalle 12 est lui-même plus ou moins grand dans le même raport.

Ainsi la hauteur Γg, au lieu de suivre le raport simple des largeurs, doit suivre celui de leurs quarrés: & il suffit par conséquent d'apporter un assez leger changement aux largeurs de la carène, pour en produire un très-grand dans la hauteur, où l'on peut mettre ensuite le centre de gravité du Navire. S'il étoit possible d'augmenter 2 ou 3 fois la largeur, on pourroit mettre après cela le centre de gravité 4 ou 9 fois plus haut: c'est par cette raison que le soufflage ou le renflement de la carène, non pas celui qui est égal par tout, mais celui qui augmente principalement la largeur par en haut, est capable d'effets si marqués. La formule $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3} S y^3 dx}{p}$ indique la même chose; & ce que la Théorie enseigne ici, les Constructeurs, sans en sçavoir la raison, l'ont éprouvé une infinité de fois.

I V.

Enfin, si sans toucher aux largeurs, ni à la longueur de la carène, on ne fait que changer sa profondeur; si on la diminuë, par exemple; le centre de gravité Γ s'élevera, puisque $F\Gamma$ diminuera en même tems & en même raison que FE; & outre cela le métacentre g s'élevera encore par raport au centre Γ. La diminution de la profondeur FE fera diminuer la solidité de la carène proportionellement: Mais le petit solide BFb qui n'aura pas changé, étant ensuite plus grand par raport à la carène, les petites distances 3Γ & 3γ seront plus grandes par raport à $\Gamma 1$; d'où il suit que $\Gamma\gamma$ sera aussi plus grande de

Digitized by Google

même que Γg. On voit donc qu'outre l'élevation que reçoit le centre Γ, lorsqu'on diminuë la profondeur de la carène, la hauteur du métacentre g au-dessus de ce centre, augmente encore en même raison que la profondeur de la carène est diminuée.

On peut représenter aisément, & d'une maniere générale, les diverses hauteurs du métacentre au-dessus du fond de la carène pour tous les divers creux où toutes les diverses profondeurs, par les ordonnées d'une hyperbole comparée à un de ses diametres. Si on éleve une perpendiculaire EG (Fig. 59.) au bas de la verticale FE, qui marque la profondeur du Vaisseau, & que faisant EM égale à la hauteur EΓ du centre de gravité Γ, & EG égale à la hauteur Eg du métacentre, ou MG égale à Γg, on tire la droite FM, & qu'on trace par le point G l'hyperbole gGg entre les deux droites FB & FM, prises pour asymptotes, toutes les autres ordonnées, comme *eg* paralleles à EG, marqueront la hauteur du métacentre au-dessus du fond *e* de la carène, pour toutes les diverses profondeurs F*e* ou FE qu'on donnera au Vaisseau. Il est bien évident que comme le centre de gravité Γ dans ses changemens de place, partagera toujours les profondeurs EF ou *e*F dans le même raport, lorsqu'on les diminuera ou qu'en les augmentera, les lignes *em* qui ont toujours même raport avec F*e*, que EM avec FE, seront égales aux hauteurs de ce centre de gravité au-dessus du fond *e*. Mais puisque la hauteur du métacentre au-dessus de ce centre augmente en même raison que la profondeur de la carène diminuë, il n'est pas moins clair qu'aussitôt que la ligne MG représente la hauteur Γg, ou lui est égale, toutes les autres lignes *mg* interceptées entre l'asymptote FM & l'hyperbole gG, seront continuellement égales aux hauteurs du métacentre au-dessus du centre de gravité; & il résulte de tout cela que les lignes entieres *eg* seront égales aux hauteurs du métacentre au-dessus du fond de la carène; puisque ces hauteurs sont formées de celles du centre de gravité, & de celles du métacentre au-dessus du centre de gravité. Fig. 59.

Digitized by Google

Fig. 59. Si l'on veut exprimer maintenant les hauteurs du métacentre au-dessus de la surface de l'eau, il n'y aura qu'à retrancher des lignes EG, *eg*, &c. qui marquent les hauteurs au-dessus du fond du Vaisseau, les parties EN, *en*, &c. égales aux profondeurs mêmes FE, F*e*; & les restes NG, *ng* seront égaux aux hauteurs du métacentre au-dessus de la surface de la Mer. On retranchera tout d'un coup toutes ces parties, en tirant la droite FN, qui coupe l'angle droit BFE par la moitié. Le point *h*, où cette ligne coupera l'hyperbole, indique la profondeur F*ε*, qu'il faut donner à la carène, pour que le métacentre se trouve précisément dans la surface de l'eau. Lorsque les profondeurs seront plus grandes, les quantités *ng* seront négatives; ce qui marquera que le métacentre sera enfoncé dans l'eau: au lieu que pour peu que les profondeurs soient moindres, le métacentre s'élevera au-dessus de la surface de la Mer; & s'élevera même à une hauteur infinie, si l'on diminuë toujours de plus en plus la profondeur de la carène.

CHAPITRE VIII.

Des changemens que reçoit la force qu'a le Navire pour rester de Niveau, lorsqu'on change les dimensions de sa Carène, & premierement lorsqu'on change sa longueur.

I.

NOUS n'avons examiné jusqu'ici que les seuls changemens ausquels est sujette la hauteur du métacentre; mais il n'est pas difficile de découvrir ceux qu'il est beaucoup plus important de connoître, que souffre *la stabilité* même du Vaisseau, cette force avec laquelle il persiste à rester dans le même état, ou plutôt avec la-

Digitized by Google

quelle il travaille à retourner à sa situation horisontale, lorsqu'on la lui a fait perdre. Suposé que sans alterer ni la largeur, ni la profondeur de la carène, on ne change que sa seule longueur, il est évident que *la stabilité* doit changer dans le même raport: L'alongement ou le racourcissement de la carène, n'obligera en aucune façon à changer la distribution de la pesanteur : il faudra seulement rendre cette pesanteur plus ou moins grande, ou charger le Navire d'un plus grand ou d'un moindre poids, à proportion des diverses espaces que sa carène occupera dans la Mer. Le centre de gravité ne montera donc ni ne descendra, & le métacentre restera aussi toujours dans la même place : ainsi le bras de levier auquel la pesanteur du Navire sera appliquée, sera toujours exactement de même longueur. Il est bien vrai qu'on ne doit pas prendre pour le levier toute la quantité dont le centre de gravité est au-dessous du métacentre. Dans la figure 55, par exemple, on voit clairement que la poussée de l'eau qui s'exerce selon la direction *γg*, n'est appliquée qu'à la distance TG du centre de gravité G, ou qu'elle n'agit qu'avec le bras du levier TG, pour relever le Navire, & le restituer dans la situation horisontale. Mais puisqu'il ne s'agit ici que d'une certaine inclinaison déterminée, & la même dans tous les Navires, dont on veut comparer *la stabilité*, la distance TG est toujours la même partie de G*g*, & on est par conséquent authorisé à ne considerer que G*g*. Il suit de tout cela que le moment de la pesanteur totale, ou sa force relative, ou pour le dire encore autrement, la stabilité du Navire, ne recevra ici de changement que parce que la pesanteur sera plus ou moins grande : & puisque cette pesanteur est proportionelle à la longueur de la carène, aussi-tôt que les autres dimensions sont les mêmes, la force relative dont il est question, sera aussi proportionelle à ces longueurs.

Il n'importe, pour l'exactitude de cette proposition, que la pesanteur totale se réunisse dans un point plus haut ou plus bas que le centre de gravité de la carène;

pourvû que lorsqu'on allonge ou qu'on racourcit le Navire, le centre de gravité commun (comme cela est très-naturel) ne monte ni ne descende: car le moment ne recevra toujours alors tout son changement que de la seule force absoluë, ou de la pesanteur. Ainsi le Théoreme est général: *dans les Navires qui ne diffèrent que par leurs longueurs, les stabilités sont en même raison que ces longueurs.*

II.

Du changement que reçoit la stabilité des corps flotans, lorsqu'on change leurs profondeurs.

Si au lieu de changer la longueur, on ne change que les profondeurs du Navire, sans toucher à ses largeurs, il faudra rendre encore la pesanteur plus ou moins grande; & outre cela elle sera appliquée à un levier different; parce que le métacentre montera ou descendra par raport au centre de gravité de la carène, dans lequel nous suposons d'abord que tout le poids se réunit. Mais il se fera toujours une exacte compensation dans le produit, & le moment ne changera pas; parce que si la pesanteur est plus grande, la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité sera plus petite dans le même raport. Pour obtenir le moment, il faut multiplier la pesanteur totale p par la quantité $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3}Sy^3dx}{p}$, dont le centre de gravité Γ est au-dessous du métacentre; mais il viendra la quantité $\frac{2}{3}Sy^3dx$, qui ne dépend, comme on le voit, que des seules dimensions de la coupe horisontale faite à fleur d'eau, dont y désigne les largeurs, & dx les petites parties élementaires de la longeur. Qu'on change donc la figure de la carène ou de tout le Vaisseau, pourvû que sa premiere tranche faite à fleur d'eau, reste la même, & que sa pesanteur totale se réunisse dans le centre de gravité de la carène, la force qu'aura le Navire pour conserver sa situation horisontale, ne sera point sujette à changer, elle sera toujours égale à $\frac{2}{3}Sy^3dx$.

Digitized by Google

Si l'expreſſion algébrique de la hauteur Γ*g*, nous offre à la premiere vûë la vérité de ce Théoreme, il eſt tout auſſi faclie d'en appercevoir la cauſe ou la raiſon phyſique. Supoſé que ſans toucher aux largeurs AB (Fig. 54.) qu'a la carène par en haut, ni à ſa longueur, on change par en bas ſa ſolidité ou capacité AEB, & qu'on l'augmente du double ou du triple; elle ſera enſuite deux ou trois fois plus grande par raport aux petits ſolides FB*b* & AF*a*, qui entrent dans l'eau ou qui en ſortent par l'inclinaiſon, & qui ne ſouffriront aucun changement: les deux centres de gravité Γ & γ des parties ſubmergées, lorſque le Navire eſt de niveau, & lorſqu'il eſt incliné, ſeront donc deux ou trois fois plus voiſins l'un de l'autre; la hauteur Γ*g* ſera en même tems deux ou trois fois plus petite; & par conſéquent la peſanteur totale *p*, qui eſt proportionelle à la ſolidité AEB, formera toujours le même produit, lorſqu'on la multipliera par cette hauteur Γ*g* qui ſert de levier, & qui change toujours en raiſon inverſe. Ainſi il eſt démontré *que les Vaiſſeaux de figures & de ſolidités, ou de peſanteurs différentes, mais dont la tranche horiſontale faite à fleur d'eau, eſt la même, ont toujours exactement la même ſtabilité, auſſi-tôt que leur peſanteur ſe réunit dans le centre de gravité de leur carène, ſupoſée homogène.* Fig. 54.

Nous ferons remarquer en paſſant que ce principe qui peut avoir des uſages fort étendus, nous donne lieu de trouver une expreſſion géométrique fort ſimple de la ſtabilité de tous les corps flotans, dont nous n'avons encore qu'une expreſſion algébrique. Lorſque nous ne nous propoſions dans l'Article IV. du Chapitre III. que de découvrir la hauteur du métacentre, & que nous cherchions d'abord par aproximation la valeur de l'intégrale $\frac{2}{3} Sy^3dx$, nous trouvions ſans y penſer la ſtabilité même du Navire; & il ne reſtoit plus qu'à multiplier la quantité trouvée par 72 livres, qui eſt le poids du pied cubique d'eau marine, pour l'évaluer entierement en meſures ordinaires & connuës. Nous pouvons maintenant en obtenir

Fig. 54. avec facilité une expression plus simple, ou au moins plus propre à fixer nos idées. Puisque cette force ne dépend aucunement de la figure qu'à la carène dans toute sa partie inférieure, nous n'avons qu'à former par la révolution de la coupe faite à fleur d'eau un demi-sphéroïde; & la force qu'il aura pour conserver sa situation horisontale, sera exactement la même que celle de tous les autres corps qui n'auront rien de commun avec le sphéroïde, que la premiere tranche faite à fleur d'eau. Le métacentre de ce dernier solide sera exactement dans son axe, & sa stabilité sera exprimée par sa solidité multipliée par la quantité dont son centre de gravité sera au-dessous de l'axe, ou au-dessous de la surface de l'eau. Les autres corps pourront avoir leurs métacentres plus ou moins élevés; mais leur pesanteur en récompense, nous le disons encore, sera moindre ou plus grande, précisément en raison inverse; & le moment total sera par conséquent toujours le même. Il est donc clair que le sphéroïde que nous venons de spécifier, fournit un moyen fort simple de trouver pour tous les corps flotans la force de permanence que nous examinons, sans qu'il soit nécessaire d'avoir égard à l'irrégularité de leur figure par en bas, ni de passer par la recherche de leur métacentre; & on pourroit passer aisément au contraire, si on le vouloit, à la connoissance de ce point par celle de leur stabilité: Il suffira toujours de connoître la solidité de ce demi-sphéroïde que nous leur substituons, de même que la quantité dont son centre de gravité est au-dessous de son axe: la stabilité de ce corps sera la stabilité de tous les autres.

Au lieu de substituer un sphéroïde à la place des solides dont on veut avoir la stabilité, on peut aussi leur substituer un corps dont toutes les coupes verticales, perpendiculaires à sa longueur, soient des triangles rectangles, dont l'angle droit est en bas. Ce solide, comme nous l'avons montré dans le Chapitre IV. aura toujours son métacentre autant élevé au-dessus de la surface de

de l'eau, que ſon centre de gravité ſera au-deſſous de cette ſurface. Ainſi il n'y aura qu'à multiplier ſa ſolidité par la quantité, dont ſon centre de gravité eſt enfoncé dans l'eau, & prendre le double du produit, pour découvrir ſa ſtabilité, & en même tems celle de tous les autres corps qui ont par en haut préciſément les mêmes largeurs. Fig. 54.

Mais nous ne ſçaurions avertir trop expreſſément que les expreſſions précédentes de cette force, ne ſont exactes, que lorſque la peſanteur du Navire ſe réunit exactement dans le centre de gravité Γ de la carène, ou de la partie ſubmergée, ſupoſée homogène; & que ſi elle ſe réuniſſoit dans un point plus haut ou plus bas, la force dont il s'agit, ſeroit moindre ou plus grande de tout le produit de la peſanteur totale, ou de la ſolidité de la carène, par la quantité dont un des centres de gravité ſeroit au-deſſus de l'autre. Supoſé que K ſoit le centre de gravité commun de tout le Vaiſſeau, il faudra pour avoir la ſtabilité ou le moment qui la conſtituë, multiplier la peſanteur totale p par $Kg = \Gamma g + \Gamma K$. Ainſi cette force ſera alors formée de deux parties, dont l'une $\frac{2}{3} Sy^3dx = p \times \Gamma g$ ſera toujours conſtante, quelque figure qu'ait la carène par en bas, & ſera égale à la ſtabilité du demi-ſphéroïde formé par la révolution de la coupe horiſontale faite à fleur d'eau. L'autre partie $p \times \Gamma K$, peut être au contraire plus ou moins grande; parce que la peſanteur totale p ſera différente, & parce que l'intervalle ΓK entre les deux centres de gravité ne ſera pas la même.

On voit donc en général, que plus on augmentera la profondeur FE de la carène, plus la force relative dont il eſt ici queſtion, $\frac{2}{3} Sy^3dx + p \times \Gamma K$ deviendra grande, à cauſe de ſa ſeconde partie; & que l'excès deviendroit même infini, ſi on augmentoit infiniment la profondeur. Mais la loi ſelon laquelle ſe fait l'augmentation, ne peut pas être ramenée à des raports ſimples; à cauſe de l'hétérogénéïté de toutes les diverſes parties du Navire & de celles de ſa charge.

III.

Du changement que souffre la stabilité des corps flotans, lorsqu'on change leurs largeurs.

Fig. 54 Suposons maintenant que sans toucher aux autres dimensions de la carène, on ne change que ses largeurs, & toutes proportionellement. La force qu'a le Navire pour rester de niveau, doit alors changer par deux endroits dans les cas mêmes où la pesanteur totale se réunira exactement dans le centre de gravité de la carène. Elle changera, parce que la force absoluë, la pesanteur totale sera différente, & plus ou moins grande précisément en même raison que les largeurs : elle changera en second lieu, parce que le bras de levier auquel cette force sera appliquée, sera plus ou moins long, puisque, comme nous l'avons vû dans l'Article III. du Chapitre précédent, la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité de la carène, croît ou décroît comme le quarré des largeurs, lorsque toutes les autres circonstances sont les mêmes. Or il suit de-là que la stabilité change en raison triplée ou comme les cubes des largeurs, puisque ces cubes doivent être proportionels aux pesanteurs qui changent comme les largeurs, multipliées par la longueur du bras de levier qui change comme le quarré. Si, sans alterer les autres dimensions, on rend, par exemple, toutes les largeurs deux fois plus grandes; la pesanteur totale sera double, & le métacentre sera quatre fois plus haut, ce qui donnera au Navire huit fois plus de force pour persister dans son état, conformément au raport des cubes.

On voit la même vérité en jettant les yeux sur la formule $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3} S y^3 dx}{p}$, ou sur l'expression, $\frac{2}{3} S y^3 dx$ qui en résulte de la stabilité. Cette quantité, ainsi qu'on le voit, change comme les cubes des largeurs y, aussi-tôt que la

Digitized by Google

longueur x de la carène ne souffre point de changement ; & on s'eſt convaincu d'ailleurs dans l'Article précédent, que les diverſes profondeurs de la carène, n'influënt en rien dans la circonſtance marquée ſur la force qu'a le Navire pour conſerver ſa ſituation horiſontale. Ainſi ce nouveau Théoreme qui ſera utile dans l'Architecture Navale, eſt parfaitement établi : que *lorſque les Vaiſſeaux ſont de même longueur, leurs ſtabilités ſont comme les cubes de leurs largeurs.* Fig. 54.

Comme on donne maintenant dans la Marine une très-grande largeur aux Navires, il n'eſt plus permis de l'augmenter beaucoup ; mais on peut changer les autres largeurs vers l'avant & vers l'arriere, & lorſqu'on les augmentera, on conferera une nouvelle force au vaiſſeau pour perſiſter dans ſa ſituation horiſontale. On peut aiſément comparer le Navire qui ſeroit cilindrique depuis une extrémité juſqu'à l'autre, avec le Navire qui ſeroit formé de deux cônes, l'un pour la prouë & l'autre pour la poupe : ou ce qui eſt plus général, mais ce qui revient au même, on peut comparer le Navire, dont la coupe horiſontale faite à fleur d'eau, eſt un rectangle, parce que toutes les largeurs dans cet endroit ſont égales entr'elles, avec le Navire dont la coupe faite à fleur d'eau, eſt formée de deux triangles, l'un du côté de l'avant, & l'autre du côté de l'arriere ; parce que la prouë & la poupe ſe terminent exactement en pointes. Le premier Navire aura préciſément quatre fois plus de ſtabilité que le ſecond. Car dans le premier cas, toutes les largeurs y étant égales, il faudra multiplier le cube y^3 par la longueur x du Navire, pour avoir l'intégrale Sy^3dx : au lieu que dans le ſecond où les largeurs vont en diminuant en progreſſion arithmétique, il faudra, pour avoir la ſomme de leurs cubes, ou l'intégrale Sy^3dx, ne multiplier le plus grand cube y^3 que par le quart de la longueur x du Navite, qui en repréſente la multitude.

Il faut au ſurplus mettre encore ici la même reſtriction que ci-devant : c'eſt-à-dire que pour l'exacte vérité de ce

Digitized by Google

Fig. 54. que nous avançons actuellement, il est toujours nécessaire que le poids de tout le Navire se réünisse dans le centre de gravité de la carène. Si le poids total se réunit dans le point K, le moment dont il s'agit ici, ne sera plus le produit de la pesanteur p par $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3}Sy^3dx}{p}$, mais par $Kg = \Gamma g + \Gamma K$, & sera donc, comme on l'a déja vû, plus grand que $\frac{2}{3}Sy^3dx$ de tout le produit de la pesanteur p, par la quantité ΓK, dont le centre de gravité commun K sera au-dessous du centre de gravité Γ. Lorsqu'on élargira ou qu'on retrecira le Vaisseau, il est naturel que son centre de gravité K reste toujours dans la même place; mais la pesanteur p changeant comme les largeurs, son produit par $K\Gamma$ changera dans le même raport. Ainsi les deux parties dont le moment $p \times \Gamma g \mp p \times \Gamma K$, ou $\frac{2}{3}Sy^3dx \mp p \times \Gamma K$, est formé, à considerer la chose d'une maniere générale, sont sujettes à changer, selon deux différentes loix. Pendant que la premiere partie qui n'est autre chose que la stabilité du Navire, lorsque sa pesanteur se réunit dans le centre de gravité de sa carène, change comme les cubes des largeurs; la seconde partie qu'il faut ajouter ou soustraire de la premiere, selon que le centre de gravité K est au-dessous ou au-dessus de Γ, ne change simplement que comme les largeurs.

Il nous reste à dire que quoique ce cas général soit plus compliqué, il est cependant très-facile de trouver le changement que reçoit la stabilité du Navire dont on change toutes les largeurs proportionellement, pourvû qu'on connoisse la premiere situation des trois points g, Γ & K, du métacentre, du centre de gravité de la carène, & du centre de gravité du Vaisseau. La pesanteur p se multipliant toujours par $Kg = \Gamma g \mp \Gamma K$, nous pouvons prendre la quantité simple $\Gamma g \mp \Gamma K$, pour représenter le moment ou la stabilité; & il n'y aura qu'à faire attention qu'après le changement fait aux largeurs, ce moment sera encore exprimé par $\Gamma g \mp \Gamma K$, mais dont on aura fait changer la partie Γg, selon le raport des cubes des lar-

Digitized by Google

geurs, & ΓK selon le raport simple de ces mêmes largeurs. Suposé qu'on élargisse le Vaisseau par tout proportionellement d'une vingt-quatriéme partie, sa stabilité deviendra plus grande dans le raport de $\Gamma g \pm \Gamma K$ à $\frac{15625}{13824}\Gamma g \pm \frac{25}{24}\Gamma K$. Fig. 54.

IV.

Du changement que reçoit la stabilité du Vaisseau, lorsqu'on se sert de lest d'une pesanteur spécifique différente.

Enfin, sans qu'il soit nécessaire de toucher aux dimensions de la carène, on peut encore faire augmenter la force relative dont il s'agit, en se servant de lest d'une pesanteur spécifique plus grande. Il ne faudra toujours mettre dans la cale que le même poids de ce lest plus pesant; mais, comme il y occupera moins de place, son centre de gravité sera plus bas, ce qui fera descendre le centre de gravité commun K, & fera donc augmenter la seconde partie $p \times \Gamma K$ du moment total. Si, à un lest deux ou trois fois plus pesant que l'eau marine, on substituë un lest qui le soit quatre fois ou cinq fois plus, il est certain que le centre K descendra considérablement; & il le sera encore beaucoup plus, si le lest est d'une matiere encore plus pesante, quoique cette descente du centre de gravité K devienne toujours plus lente, & que la stabilité ait une limite à laquelle il n'est pas même possible qu'elle parvienne jamais. Il faudroit en effet que la pesanteur de toutes les parties du Navire fût nulle, & que le lest fût au contraire d'une pesanteur spécifique infinie, pour que le centre de gravité K descendît jusqu'en E; & alors la stabilité du Navire qui n'est exprimée que par $\frac{2}{3}Sy^3dx = p \times \Gamma g$, lorsque la pesanteur totale p se réunit en Γ, feroit exprimée par $p \times \Gamma g + p \times \Gamma E$, & ne feroit donc augmentée que dans le même raport que gE est plus grande que $g\Gamma$. On ne peut, en em-

Digitized by Google

ployant du lest plus pesant, qu approcher de cette plus grande force relative, sans jamais l'atteindre : c'est un terme qui est inaccessible, quoiqu'on doive l'avoir toujours en vûë. Mais on reconnoît en même tems que les matieres viles qui sont sept à huit fois plus pesantes que l'eau Marine, & dont on peut disposer avec facilité, procureront sensiblement, quand on le voudra, tout l'avantage possible à cet égard.

CHAPITRE IX.

Examen plus particulier du changement que reçoit la stabilité du Navire, lorsqu'on ajoute à sa carène, ou qu'on en retranche quelque partie par en bas.

I.

LA grande importance de ce sujet nous invite à nous en occuper davantage, & à examiner plus attentivement les effets que doit produire, non pas le changement total fait à une des trois principales dimensions de la carène ; mais l'addition particuliere, ou le retranchement de quelque espace peu étendu.

Il suit déja de l'Article II. du Chapitre précédent, que lorsqu'on ajoute à la carène deux espaces AHE*h*, & BHE*h*,
Fig. 60. (Fig. 60.) sans toucher aux dimensions de la coupe horisontale faite à fleur d'eau, & que le nouveau poids dont il faut charger le Navire de plus, à cause du plus grand espace qu'il occupe dans la Mer, se réunit dans le centre de gravité de ces espaces ajoutés, la stabilité est toujours exactement la même ; aussi-tôt que la pesanteur totale qu'avoit auparavant le Navire, se réunissoit dans le centre de gravité de sa carène. Car si l'addition des deux espaces augmente l'étenduë de la carène, & fait changer son centre de gravité, l'addition du nouveau poids produira

Digitized by Google

d'un autre côté le même changement à l'égard du centre de gravité commun de tout le Vaiſſeau, & le fera toujours concourir avec le centre de gravité particulier de la carène ſupoſée homogène. Or il n'en faut pas davantage, auſſi-tôt que la coupe horiſontale faite à fleur d'eau eſt toujours la même, pour que le Navire, malgré ſa plus grande peſanteur, ou la plus grande ſolidité de ſa carène, n'ait toujours que la même force, pour conſerver ſa ſituation horiſontale. Fig. 60.

Mais ce qui eſt très-digne de remarque, & ce qui donne une généralité infiniment plus grande à notre propoſition, c'eſt qu'elle ſe trouve également vraie, quoique la peſanteur totale du Vaiſſeau ſe réuniſſe dans un autre point que le centre de gravité de la carène. Nous tâcherons de nous expliquer plus clairement. *Si après avoir renflé la carène* AHEHB *par en bas, en lui ajoutant les deux parties* AHEh *&* BHEh, *qui ſupoſées homogènes, ont leur centre de gravité en* I, *on fait enſorte que le nouveau poids dont il faudra charger le Vaiſſeau, ait pour centre de gravité les mêmes points* I *ou le point* K, *qui eſt exactement au milieu ſur la ligne droite qui les joint, la ſtabilité du Navire ſera toujours préciſément la même, ſans qu'il importe en quel endroit ſoit le centre de gravité commun* G_1.

Lorſqu'on ajoute à la carène les deux parties AHEh, & BHEh, que nous ſupoſons infiniment petites pour plus de facilité, quoique nos raiſonnemens ſoient généraux, le centre de gravité Γ_1 de la carène conſidérée comme homogène, doit deſcendre, & il eſt évident qu'il le doit faire de la petite quantité $\Gamma_1\Gamma_2$, qui a même raport à Γ_1K, que les deux parties ajoutées AHEh, BHEh à toute la carène. Ainſi ſi la hauteur du métacentre g_1 audeſſus du centre de gravité de la carène, ne devoit recevoir aucun changement, le métacentre ſe trouveroit enſuite en g_2, & le petit eſpace g_1g_2, dont il ſeroit plus bas, ſeroit égal à $\Gamma_1\Gamma_2$. Mais la hauteur du métacentre à l'égard même du centre de gravité Γ_2, doit diminuer en même raiſon qu'on a fait croître la ſolidité de la

Fig. 60. carène ; il est donc clair que la situation du métacentre $g1$ souffre deux petits changemens : l'un $g1g2$ qui est égal à $\Gamma1\Gamma2$, & qui est proportionel à $\Gamma1K$; & l'autre $g2g3$ qui est proportionel à $\Gamma1g1$, & qui a même raport à $\Gamma1g1$, que les deux espaces AHE*h* & BHE*h* à toute la carène. Or il suit de-là que le changement total $g1g3$ est proportionel à toute la hauteur $Kg1$; de sorte que la hauteur du métacentre par raport au point K, diminuë toujours précisément en même raison que la solidité de la carène augmente.

D'un autre côté le centre de gravité commun G1 du Vaisseau, de son propre corps, de ses agréils, de sa charge, &c. doit recevoir aussi quelque changement par l'addition du nouveau poids en I & en I. Ces nouveaux poids doivent faire le même effet que s'ils étoient appliqués en **K** ; & ils doivent faire diminuer la hauteur KG1 de la petite quantité G1G2, en même raport que la solidité de la carène ou que la pesanteur du Vaisseau, est plus grande qu'elle n'étoit. Mais puisque nous avons vû que $Kg1$ en devenant $Kg3$, diminuë en même raison, il suit (*dividendo*) que l'excès $g1G1$ d'une de ces hauteurs sur l'autre, diminuë aussi proportionellement. La stabilité du Vaisseau est donc exactement la même dans les deux circonstances, puisque la hauteur du métacentre par raport au centre de gravité du Navire, reçoit en moins précisément le même changement, que la solidité de la carène, ou que la pesanteur du Navire reçoit en plus ; & on sçait que le produit de deux grandeurs qui ne varient qu'en raison réciproque, est constamment le même.

On peut prouver la même vérité d'une maniere beaucoup plus simple ; mais en suposant ce que nous avons dit dans le Chapitre précédent, touchant les deux parties dont la stabilité du Navire est formée, lorsque la pesanteur totale ne se réunit pas dans le centre de gravité de la carène. L'addition des deux parties AHE*h*, BAE*h* fait également diminuer les hauteurs $K\Gamma1$ & KG1 des centres de gravité de la carène & du Vaisseau, en raison inverse

Digitized by Google

inverſe des ſolidités de la carène dans les deux états. On en conclut (*dividendo*) que les diſtances $G2\Gamma2$ & $G1\Gamma1$ de ces centres de gravité, ſont en raiſon réciproque des deux différentes ſolidités, ou des deux différentes peſanteurs totales du Vaiſſeau, & que par conſéquent le produit de la peſanteur totale par la diſtance actuelle des deux centres, eſt toujours la même. Or c'en eſt aſſez pour que la ſtabilité ne change point; puiſque ſa premiere partie eſt toujours conſtante, & que le produit ou le moment dont nous venons de parler, conſtituë la ſeconde. Fig. 60.

II.

Mais puiſque la ſtabilité du Navire eſt toujours exactement la même, lorſque le nouveau poids qu'il faut ajouter à la charge, ſe réunit dans le centre de gravité des eſpaces ajoutés à la carène; il eſt clair que ce ne ſera plus la même choſe auſſi-tôt que cette condition ne ſera pas remplie; ainſi que cela arrivera preſque toujours. Comme le leſt eſt au moins une fois & demie, ou deux fois plus peſant que l'eau de Mer, celui qu'on ajoutera à la charge, ne remplira qu'une partie des eſpaces AHE*h*, BHE*h*, & quand même il ſeroit de même peſanteur ſpécifique que l'eau, on ne l'étendroit pas juſqu'au haut A & B de ces eſpaces; mais on le rejetteroit en partie vers le milieu de la cale. L'addition qu'on eſt obligé de faire au leſt, auſſi-tôt qu'on donne une plus grande ſolidité par en bas à la carène, a donc toujours dans les cas ordinaires & actuels, ſon centre de gravité *i* au-deſſous de celui I de l'eſpace ajouté; & il ſuit de-là que ſa force relative doit être plus grande, ou que le Vaiſſeau acquiert une nouvelle ſtabilité. La force relative doit être plus grande de tout le produit du nouveau poids par la quantité K*k*, dont ſon centre de gravité *i* ſe trouve au-deſſous de I.

Si E marque l'étenduë ou la ſolidité AHEHB de la carène, & *e* l'étenduë des deux parties AHE*h* & BHE*h* qu'on lui ajoute enſuite; ces étenduës étant proportio-

Fig. 60. nelles, & à la premiere pesanteur qu'avoit le Vaisseau, & au poids qu'il faut ensuite lui donner de plus, la stabilité sera dans le premier état exprimée par E×G1g1, & dans le second par E×G1g1 + e×Kk. C'est-à-dire que *lorsqu'on ajoute quelque étendue à la carène par en bas, la stabilité du Navire se trouve toujours augmentée ou diminuée de tout le produit du nouveau poids qu'il faut ajouter en même tems, multiplié par la quantité dont son centre de gravité est au-dessous ou au-dessus de celui de l'espace ajouté.* La stabilité sera plus grande, si le nouveau poids est plus bas; & elle sera au contraire plus petite, si le nouveau poids est plus haut.

III.

Il ne nous reste plus qu'un pas à faire, pour voir encore plus distinctement l'effet que doivent produire tous les changemens qu'on peut faire à la carène par sa partie inférieure. Suposons d'abord qu'elle ait la forme ABPP
Fig. 61. (Fig. 61.) & que ne changeant toujours rien à ses largeurs par en haut, on l'accroise par en bas des deux petits triangles rectilignes ou mixtilignes OP*p*, qui sont égaux, en augmentant le plat PP des varangues de la petite quantité P*p* par chaque extrémité. La carène occupant ensuite un plus grand espace dans la Mer, il faudra donner à la charge ou au lest un plus grand poids, & la pesanteur de ce poids ajouté, doit être égale à celle du volume d'eau, dont les deux triangles OP*p*, occupent la place. Mais si la matiere du lest est, par exemple, six fois plus pesante que l'eau Marine, le poids ajouté au lieu d'occuper entierement les petits triangles OP*p*, n'en occupera que la sixiéme partie. Je supose que ce nouveau lest se trouve comme ramassé autour des points I, & que sa pesanteur se réunisse dans ces mêmes points. La stabilité du Navire, selon l'Article I. ne sera nullement augmentée : mais il faudra nécessairement achever de remplir les triangles OP*p*, OPp, & ce doit être avec le premier lest qui parvenoit auparavant dans la cale jusqu'à

Digitized by Google

la ligne MM, & qui ne parviendra plus ensuite que jusqu'à *mm*, après que toute la quantité MM*mm* aura été employée à occuper le reste des deux espaces triangulaires OP*p*. Or cette simple transposition fera augmenter la stabilité du Navire, parce que le poids sera appliqué plus bas qu'il n'étoit, ou qu'il sera appliqué à un bras de levier plus long; & son moment se trouvera plus grand de tout son produit par la quantité dont son centre de gravité sera plus bas. Fig. 61.

Comme ce lest transposé n'occupe pas les espaces triangulaires entiers, mais seulement les cinq sixiémes, ou cinq fois plus d'espace que n'occupe le lest ajouté, & qui environne immédiatement les centres de gravité I, sa pesanteur sera représentée par cinq fois l'étenduë des deux petits triangles, à proportion de celle du lest ajouté, qui n'est représenté que par l'étenduë même de ces triangles. D'un autre côté, il aura également pour centre de gravité les points I dans chaque espace : car ayant supose le nouveau lest tellement recueilli autour des points I, qu'il a ces deux points pour centre de gravité, l'espace qui reste autour doit avoir encore les mêmes points pour centres. Ainsi la stabilité du Navire sera simplement augmentée du produit du lest transposé, multiplié par KH qui est la quantité dont il est porté plus bas. Si nous nommons, comme ci-devant, E l'étenduë entiere AOPPOB, & *e* celle des deux espaces triangulaires, nous aurons toujours pour la stabilité du Navire dans le premier état, $E \times Gg$, produit de l'étenduë E, qui représente le poids total par la quantité Gg, dont le centre G est au-dessous du métacentre g: mais dans le second état la stabilité sera augmentée du produit de la pesanteur du lest transposé, qui est égale à $5e$, multipliée par KH. C'est-à-dire qu'elle sera $E \times Gg + 5e \times HK$.

Si le lest au lieu d'être six fois plus pesant que l'eau de Mer, ne l'est que trois fois plus, le nouveau lest qu'il faudra ajouter lorsqu'on augmentera l'étenduë de la carène, occupera le tiers des deux petits triangles PO*p*. Il reste-

Digitized by Google

Fig. 61. ra donc les deux autres tiers qu'il faudra remplir avec une double quantité d'ancien lest, & qui pesera par conséquent deux fois plus. Ainsi la stabilité sera augmentée de $2e \times HK$ produit de HK par $2e$ qui est alors la pesanteur du lest transposé double de celle du lest ajouté. Si le lest est deux fois plus pesant que l'eau Marine, on verra de la même maniere que la stabilité du Navire sera augmentée par l'addition des deux triangles POp, de $e \times HK$, qui est le produit de HK par l'étenduë simple de ces deux triangles. Enfin, nous avons ce Théoreme général qui doit être d'un grand usage, & qui répand un nouveau jour sur toute cette matiere, que *si* n *exprime le nombre de fois dont la pesanteur spécifique du lest est plus grande que celle de l'eau Marine, la stabilité du Vaisseau qui étoit exprimée par* $E \times Gg$, *reçoit par l'addition des deux petits triangles* OP*p*, *ou de tout autre espace ajouté vers le bas de la carène, une augmentation toujours exprimée par le produit du multiple* $n-1$ *de l'étenduë* e *de ces espaces multipliés par la quantité verticale* HK, *dont leur centre de gravité commun* H *est au-dessous de la surface supérieure du lest, ou au-dessous, pour parler dans la derniere précision, du centre de gravité de* MM*mm*.

Il n'est pas, je crois, nécessaire d'avertir que ce Théoreme n'a lieu que lorsque les espaces ajoutés à la carène, ne sont pas au-dessus de la surface supérieure du lest : Si ces espaces étoient ajoutés au niveau de cette surface, il ne se feroit aucune transposition de lest, qui le portât plus bas ; & le nouveau lest qu'il faudroit ajouter, n'augmenteroit aussi en rien la stabilité qui resteroit donc la même à cet égard, conformément au Théoreme. Mais si les petits espaces qu'on ajoute à la carène sont au-dessus de la surface du lest, on gagne alors réellement, parce que le lest qu'il faut joindre à l'ancien, ne se met pas dans ces espaces mêmes, mais s'étend sur l'ancien. C'est pourquoi la stabilité du Navire est augmentée du produit des espaces simplement ajoutés *e*, par la quantité dont leur centre de gravité est élevé au-dessus de la surface du lest.

Digitized by Google

IV.

Il résulte de tout ce qu'on vient de dire, qu'il y a toujours réellement de l'avantage, & un avantage considérable à augmenter la solidité de la carène par en bas & par les côtés, comme dans les figures 60 & 61; & il est également clair qu'aussitôt que ses plus grandes dimensions sont déja fixées, sa longueur, sa plus grande largeur, sa profondeur, on ne peut pas lui donner de forme préferable à celle d'un parallelipipede rectangle; puisqu'en ajoutant continuellement de nouvelles parties AHE*h*, ou OP*p*, on confére toujours au Vaisseau une nouvelle stabilité. Toutes les figures seroient absolument indifférentes ou également parfaites, nous le répetons encore, si le nouveau poids qu'il faut nécessairement donner de plus à la charge, quand on augmente la carène, étoit placé dans le centre de gravité de l'espace ajouté, ou si toute la masse du lest ne descendoit pas: mais aussi-tôt qu'on ne peut pas se dispenser de mettre le poids plus bas, il y aura toujours à gagner du côté de la grandeur du moment, ou de cette force avec laquelle le Navire conserve sa situation horisontale. On a donc ici des moyens infaillibles de corriger les projets qu'on aura trouvé défectueux, ou qui n'auront pas pû soutenir l'examen expliqué dans le Chapitre VI. & on le pourra faire avec le même succès, soit qu'on touche à la largeur de la carène, soit qu'on touche à sa profondeur, soit enfin qu'on ne fasse que changer la pesanteur spécique du lest. On a vû combien ce dernier moyen est efficace; & il ne faut pas douter que certains Vaisseaux qu'on regarde comme inutiles, ne devinssent très-capables d'aller en Mer, si on leur donnoit un lest entierement de fer. Fig. 60 & 61.

V.

Pour revenir aux dimensions de la carène, la largeur, telle qu'elle est fournie actuellement par les régles ordinaires, est accommodée à la grosseur de l'artillerie, & au

Digitized by Google

nombre d'hommes dont on veut que l'équipage ſoit formé; de ſorte qu'on peut dire qu'auſſitôt qu'on ſe propoſe de faire un Vaiſſeau d'un certain rang, ou d'un certain nombre de canons, ſa largeur eſt comme *donnée*: Elle l'eſt par toutes les conditions ajoutées par l'uſage auquel on deſtine le Vaiſſeau. Mais qu'on s'arrête à la largeur qu'on voudra, il n'y aura toujours pour rendre le Navire plus ſtable, qu'à donner plus de profondeur à ſa carène, ou qu'à la groſſir par en bas, en donnant plus de plat à ſes varangues. On pourroit enfin augmenter la profondeur à l'infini, & avec avantage; au lieu qu'il y a toujours du riſque à la trop diminuer. Ainſi s'il nous reſte quelque choſe à faire, c'eſt de chercher cette moindre profondeur qui ſert de terme, ou celle qu'il faut au moins donner au Navire pour le mettre en ſureté.

CHAPITRE X.

Déterminer la moindre profondeur qu'on peut donner à la Carène des Vaiſſeaux qui ſont très-chargés par en haut, pour que leur centre de gravité ſoit effectivement au-deſſous du métacentre.

I.

IL s'agit principalement dans les plus grands Vaiſſeaux de faire enſorte que leurs batteries ne ſoient pas noyées, ou qu'elles ſoient aſſez élevées au-deſſus de la ſurface de la Mer. Nous commencerons par remplir d'abord cette condition qui occupe aujourd'hui ſi fort, & avec raiſon, les Conſtructeurs: Nous regarderons comme donnée la quantité dont le bord du Vaiſſeau doit être élevé au-deſſus de l'eau; & nous travaillerons enſuite à remplir les autres vûës. Nous venons de reconnoître que plus les coupes de la carène faites perpendiculairement à la lon-

Digitized by Google

gueur, approchent d'avoir la figure de rectangles, plus le Vaisseau a de stabilité: Nous ne sçaurions donc mieux faire que de lui attribuer la forme d'un parallelipipede rectangle; cela n'empêchera pas que l'examen que nous allons entreprendre, ne nous fournisse des vûës générales, qui auront leur application aux Vaisseaux de toutes les figures.

Je supose que AEB (Fig. 62.) est la carène du Vaisseau, ou plutôt sa coupe verticale faite perpendiculairement à sa longueur; c'est-à-dire que AB est la longueur ou la grandeur du bau, & FE est le creux ou la profondeur. Je regarde comme déja déterminée la longueur du Vaisseau, de même que la largeur AB, le nombre de ses ponts, son artillerie, les dimensions de sa mâture, la hauteur des ponts au-dessus de la surface de la surface de l'eau. Tout cela constituë le Vaisseau d'un certain rang ou d'une certaine grandeur, & il s'agit simplement de trouver la profondeur FE que doit avoir la carène. Les dimensions en un mot de tout ce qui doit être au-dessus de la surface de l'eau, sont arrêtées; & il n'est question que de déterminer la grandeur de la carène qu'on doit mettre en-dessous. Sa profondeur doit être au moins assez grande, pour que la *poussée verticale* de l'eau puisse soutenir la pesanteur de toutes les choses que nous venons de spécifier. Mais il s'agit de trouver de combien on doit l'augmenter encore, afin que la partie submergée étant plus grande que ne l'exige la pesanteur particuliere du Vaisseau, on puisse mettre dans la cale, s'il le faut, une certaine quantité de lest, & faire ensorte que le centre de gravité du tout se trouve audessous du métacentre. Je nomme c la moindre profondeur que puisse avoir la carène; cette profondeur qui lui est nécessaire pour que la pesanteur particuliere du Vaisseau sans lest, ne vainque pas la poussée verticale de l'eau. Je nomme a la demi-largeur de la carène; b la quantité GF, dont le centre de gravité particulier du Vaisseau, de son artillerie & de ses agréils, est élevé au-dessus de

Fig. 62.

Fig. 62. la surface de l'eau : la situation de ce centre pourra toujours se trouver aisément par les calculs du Chapitre V. puisque toutes les parties du Vaisseau qui forment principalement la pesanteur, sans même excepter la carène jusqu'à la profondeur c, sont données; & à l'égard de ce qui est au-dessous de ce terme, on peut le confondre avec le lest. On rendra d'ailleurs b plus ou moins grande, selon qu'on voudra que le Vaisseau soit plus ou moins élevé au-dessous de l'eau. Enfin je désigne par m & n le raport de la pesanteur spécifique de lest à celle de l'eau de Mer; & par x la profondeur inconnuë FE que doit avoir la carène, ou la seule partie sujette à se plonger.

II.

Solution Analytique.

Puisque la pesanteur du Vaisseau dans ses différens états, est proportionelle à la solidité de ses parties submergées, & que ces parties, à cause de la forme de la carène en parallelipipede rectangle, sont exactement proportionelles à leurs profondeurs, nous pouvons exprimer la pesanteur particuliere du Vaisseau, de son artillerie & de ses agréils par c, & la pesanteur particuliere du lest par l'excès $x-c$ d'enfoncement qu'il produit. Mais quoique la pesanteur du lest soit exprimée par $x-c$, ce n'est pas à dire pour cela qu'il occupera dans la cale toute la hauteur $x-c$. Il l'occuperoit s'il étoit de même pesanteur que l'eau de Mer; mais comme il est plus ou moins pesant dans le raport de m à n, il doit occuper une hauteur EK plus petite ou plus grande dans le même raport, & il évident que cette hauteur sera exprimée par $\frac{n}{m}\times\overline{x-c}$. Le centre de gravité H du lest doit se trouver au milieu de cette hauteur, c'est-à-dire qu'il sera élevé au-dessus de la quille ou du fond de la carène, de $\frac{n}{2m}\times\overline{x-c}$; & puisque la pesanteur qui se réunit dans ce centre,

centre, est représentée par $x - c$, nous aurons $\frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}$ pour son moment par raport à la quille. Il est encore plus facile de trouver l'expression du moment de la pesanteur particuliere du Vaisseau qui se réunit dans le centre de gravité G. Ce centre est élevé au-dessus de la surface de l'eau de la quantité GF$=b$, & sa hauteur au-dessus du fond de la carène, est donc $b+x$. Or n'y a qu'a multiplier cette hauteur par l'enfoncement c de la carène qui exprime la pesanteur particuliere du Vaisseau auquel il ne manque que son lest, & il viendra $bc + cx$. Enfin ajoutant ce moment avec celui $\frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}$ du lest, & en divisant la somme $bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}$ par celle des pesanteurs, ou par x qui la représente; puisque x est la somme de c & de $x - c$, & qu'il désigne l'enfoncement total de la carène, nous trouverons $\frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}$ pour la hauteur EG1 du centre de gravité G1 commun du Vaisseau & de son lest, &c. Fig. 62.

Ainsi il n'est plus question que de chercher l'expression de la hauteur Eg du métacentre g, & de faire ensorte que cette hauteur soit plus grande que la précédente. Selon ce qu'on a vû au commencement du Chapitre IV. la hauteur du métacentre g au-dessus du centre de gravité de la carène considerée comme homogène, est $\frac{a^2}{3x}$, & puisque ce dernier centre qui est au milieu de la profondeur x, est déja élevé de $\frac{1}{2}x$, nous aurons $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x$ pour la hauteur totale Eg du métacentre au-dessus du fond de la carène; & c'est donc cette hauteur qui doit nécessairement être plus grande que celle EG1 $\left(= \frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}\right)$ du centre de gravité G1 commun du Vaisseau & de son lest. C'est-à-dire que

Fig. 62. nous aurons $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x > \frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}$, ou si k désigne la quantité précise dont on veut que le métacentre soit au-dessus du centre de gravité commun G1, on aura $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x = k + \frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}$, dont on tirera la formule . . . .

$$x = \frac{mk + \overline{m-n} \times c \pm \sqrt{\overline{m-n} \times mbc - \overline{m+n} \times \frac{1}{3}ma^2 + \overline{m-n} \times 2mkc + m^2k^2 + \overline{m-n} \times mc^2}}{m-n}$$

qui satisfait à la question.

Si cependant le lest étoit de même pesanteur spécifique que l'eau marine, je crois qu'il vaudroit mieux chercher la valeur de x immédiatement dans l'équation $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x = k + \frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}$, que dans la formule même. Alors $m = n$, & le Problême devient simple; on trouve $x = \frac{\frac{1}{3}a^2 - bc - \frac{1}{2}c^2}{k}$, qui nous apprend que $\frac{1}{3}a^2$ doit être absolument plus grande que $bc + \frac{1}{2}c^2$, & qu'aussitôt que cette condition a lieu, le centre de gravité commun du Vaisseau & de la charge, est toujours, comme il le doit être, au-dessous du métacentre. Il l'est en effet de la quantité $k = \frac{\frac{1}{3}a^2 - bc - \frac{1}{2}c^2}{x}$, que la condition que nous venons de spécifier, rend nécessairement positive; au lieu que si $\frac{1}{3}a^2$ étoit moindre que $bc + \frac{1}{2}c^2$, la quantité k deviendroit négative, & par conséquent le métacentre ne se trouveroit plus au-dessus du centre de gravité commun G1 du Vaisseau & de sa charge, mais au-dessous; ce qui causeroit la perte inévitable du Vaisseau. Ainsi il faudroit alors refondre le projet dès le commencement: il faudroit ou diminuer le nombre des ponts, ou rendre l'artillerie beaucoup moins pesante, ou enfin augmenter la demi-largeur a de la carène.

Nous ne pouvons pas nous empêcher de le répeter,

Digitized by Google

qu'en même tems que cette condition de $\frac{1}{3}a^2$ plus grande que $bc+\frac{1}{2}c^2$ est indiſpenſable dans la ſupoſition que le leſt ne peſe pas plus que l'eau marine, ſon obſervation fait tout; puiſqu'auſſitôt qu'elle a lieu, le centre de gravité G eſt néceſſairement au-deſſous du métacentre, quelque profondeur qu'on donne à la carène : de ſorte qu'alors il n'y a point à ſe tromper. Cette régle doit être d'un uſage d'autant plus étendu, & applicable aux Vaiſſeaux qui ont une figure plus différente du parallelipipede rectangle, qu'elle eſt tirée du cas même le moins favorable; car le leſt aura ordinairement une peſanteur ſpécifique, preſque double de celle de l'eau marine, & quelquefois trois ou quatre fois plus grande; ce qui donnera au Navire une nouvelle force pour conſerver ſa ſituation horiſontale. On ſçaura donc ſi un projet de Vaiſſeau doit réuſſir par ce ſimple calcul. *On ajoutera la quantité* (b), *dont ſon centre de gravité particulier eſt élevé au-deſſus de l'eau, avec la moitié de la moindre profondeur* (c), *que doit avoir la carène, pour que la Mer puiſſe le ſoutenir, lorſqu'il n'a point de charge étrangere : on multiplira cette ſomme par la moindre profondeur* (c), *& il ne reſtera plus qu'à voir ſi le produit* ($cb+\frac{1}{2}c^2$) *eſt effectivement moindre que le tiers du quarré de la demi-largeur* (a) *du Navire.* Fig. 61.

Cet examen ne ſera abſolument néceſſaire que pour les plus grands Navires, dans leſquels les Constructeurs ſont le plus ſujets à ne pas réuſſir; c'eſt pour cela que nous prendrons pour exemple un Vaiſſeau du premier rang. Je ſupoſe qu'on a déja cherché de combien doit être la moindre profondeur de la carène pour ſoutenir le poids de ſa mâture, de ſes agréils, de ſon artillerie, des ponts, des dunettes, de l'équipage même, & qu'on examine en même tems combien le centre de gravité de toutes ces choſes eſt élevé au-deſſus de l'eau. Si la moindre profondeur eſt de 10 pieds, & la hauteur du centre de gravité de 11, pendant que la largeur du Vaiſſeau eſt de 48; on aura $a=24$; $c=10$, & $b=11$. & comme le tiers 192 du quarré de a eſt conſidérablement plus grand que 160,

qui est la valeur de $bc + \frac{1}{2}c^2$, ce sera une marque que le projet peut réussir, & qu'on peut donner à la carène quelle profondeur on voudra, plus grande que c. Lorsque $\frac{1}{3}a^2$ surpassera $bc + \frac{1}{2}c^2$ d'une moindre quantité,il y aura moinsr de sureté, & il faudra quelquefois se résoudre à retranche quelque chose des parties supérieures du Vaisseau, à moins qu'on ne puisse remedier au mal, comme nous l'avons dit, en faisant le lest d'une plus grande pesanteur spécifique.

III.

Construction géométrique du même Problême.

On peut pour répandre un plus grand jour sur toute cette matiere, représenter les hauteurs du centre de gravité commun du Vaisseau & de son lest, à peu près de la même maniere que nous avons représenté celles du métacentre dans le Chapitre VII. * On se ressouvient que les hauteurs de ce dernier point sont représentées par les ordonnées *eg*, F*g* d'une hyperbole *ggg*, (Fig. 63.) comparée à la droite FD, dont les parties FE, FD représentent les profondeurs variables du Vaisseau. Lhyperbole *ggg* a pour asymptotes les lignes FB & FM; & pendant que *mg* ou M*g* marque la hauteur qu'a le métacentre, par raport au centre de gravité de la carène suposée homogène, les parties *em* & EM qui sont proportionelles aux profondeurs F*e* ou FE, marquent la quantité dont ce dernier point est élevé au-dessus du fond de la carène; & de cette sorte les ordonnées entieres *eg* ou E, marquent les hauteurs completes du métacentre au-dessus de ce même fond. Dans le cas que nous examinons actuellement, les hauteurs du métacentre sont exprimées par $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x$, le second terme répond à *em* ou EM, & le premier à *mg* ou à M*g*.

* Article IV.

Fig. 63.

Nous avons trouvé d'un autre côté que la hauteur du centre de gravité commun du Vaisseau & de la charge,

Digitized by Google

est représentée par $\frac{cb + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}$ à laquelle on Fig. 63.

peut donner cette forme $\frac{m-n}{m} \times c + \frac{n}{2m} x + \frac{\frac{n}{2m} c^2 + cb}{x}$ qui contient trois termes distincts, dont le premier est absolument constant; le second proportionel à la profondeur de la carène, & le troisiéme suit la raison inverse de cette même profondeur. Je représente le premier terme par les constantes el, ou EL, terminées entre FD & la parallele CL, qui en est éloignée de la distance $FC = \frac{m-n}{m} c$. Je viens à bout de représenter le second terme $\frac{2m}{n} x$ par lk ou LK, en tirant du point C la ligne CI, de maniere que CL soit à LK comme $2m$ est à n; & enfin le troisiéme terme $\frac{\frac{n}{2m} c^2 + bc}{x}$, est représenté par les parties kG ou KG, qui se terminent à l'hyperbole GGG, qui a CB & GI pour asymptotes, & dont $\frac{n}{2m} c^2 + bc$ est la puissance. Ainsi les ordonnées entieres eG, EG marquent les hauteurs du centre de gravité commun du Vaisseau & de son lest au-dessus du fond de la carène pour toutes les différentes supositions ou hypothèses de profondeurs de carène. On voit aisément entre toutes ces hypothèses celles qu'il faut exclure, ou celles qu'on peut adopter, parce qu'elles rendent la hauteur du centre de gravité commun plus grande ou plus petite que la hauteur du métacentre. Ces deux hauteurs ne font encore que commencer à devenir égales, lorsque FE est la profondeur de la carène; mais qu'on rende cette profondeur un peu plus grande, qu'on la fasse égale à FD, le métacentre se trouvera au-dessus du centre de gravité, de toute la quantité Gg, dont Dg est plus grande que DG; & si on veut avoir la stabilité du Vaisseau, il n'y aura qu'à multiplier Gg par la profondeur FD qui est ici proportionelle à la pesanteur totale. On n'a garde de don-

Digitized by Google

Fig. 63. ner cette construction du Problême pour la plus simple; mais on ne peut s'empêcher de dire qu'elle est la plus lumineuse de toutes : c'est ce qui nous la fait choisir.

Si la pesanteur spécifique du lest est égale à celle de l'eau marine, nous aurons $m = n$; & l'expression $\frac{m+n}{m}$. $c + \frac{n}{2m}x + \frac{\frac{n}{2m}c^2 + bc}{x}$ de la hauteur du centre de gravité du Vaisseau, se réduira à $\frac{1}{2}x + \frac{\frac{1}{2}c^2 + bc}{x}$. Ainsi l'intervalle FC deviendra nul, la ligne CI tombera sur FM, comme dans la figure 64, & les deux hyperboles GGG & *ggg*, qui auront les mêmes asymptotes, ne différeront entr'elles qu'à cause de leur différentes puissances $\frac{1}{2}c^2 + bc$, & $\frac{1}{3}a^2$. Lorsque la puissance de la premiere GGG sera plus grande que celle de la seconde *ggg*, les hauteurs du centre de gravité seront constamment plus grande que celles du métacentre, quelque profondeur qu'on donne à la carène; & il faudra par conséquent retourner sur ses pas pour corriger tout le projet de plus loin. Mais si $\frac{1}{3}a^2$ est plus grand que $\frac{1}{2}c^2 + bc$, l'hyperbole *gg* qui marque les hauteurs du métacentre, sera en-dehors de l'autre hyperbole, & alors on pourra donner quelle profondeur on voudra à la carène. On ne pourra pas lui en donner une plus grande sans se trouver obligé de donner aussi plus de pesanteur au Vaisseau; mais comme dans ce cas particulier la quantité G*g*, dont le centre de gravité sera au-dessous du métacentre, diminuera en même raison, la stabilité du Navire sera toujours la même; ce qui est conforme à ce que nous sçavions déja.

Fig. 64.

Digitized by Google

CHAPITRE XI.

Trouver par une expérience très-ſimple dans les Vaiſſeaux déja conſtruits, ſi le centre de gravité a la ſituation qu'on ſe propoſoit de lui donner.

IL ſera ſans doute très-avantageux, après que le Vaiſſeau ſera conſtruit & tout-à-fait armé, de pouvoir vérifier dans le Port même, & avant le départ, ſi le centre de gravité & le métacentre ſont effectivement diſpoſés l'un par raport à l'autre, comme ils doivent l'être. Quelquefois pluſieurs choſes ſont arrangées & placées différemment; la conſommation des munitions dans une longue campagne va auſſi très-loin : & il eſt commode de voir tout d'un coup les changemens qui réſultent de tout cela. C'eſt ce qu'on peut toujours ſçavoir par une expérience très-ſimple, dont nous devons la premiere idée au Pere Hoſte.

Si l'on met à côté du Navire OEC (Fig. 55) en-dehors un aſſez grand poids P, à l'extrémité Q d'une piéce de bois placée en travers, ce poids fera incliner le Vaiſſeau juſqu'à un certain terme; juſqu'à ce qu'il y ait équilibre de part & d'autre de la direction γZ de la pouſſée verticale de l'eau, entre le poids d'un côté & la peſanteur du Vaiſſeau de l'autre. Le centre de gravité commun G, eſt exactement dans la même verticale que le métacentre g, lorſque le Navire étant laiſſé à lui-même, eſt dans ſa ſituation horiſontale. Mais à meſure que l'inclinaiſon augmente, le centre de gravité G s'éloigne de la verticale γZ du métacentre; & il eſt évident que la diſtance GT à cette ligne, eſt continuellement proportionelle au ſinus de l'inclinaiſon, au moins lorſque le Navire s'incline très-peu. Or connoiſſant cette diſtance & de plus la peſanteur totale du Vaiſſeau, on aura ſon moment ou la force re- Fig. 55.

Fig. 55. lative avec laquelle cette pesanteur travaille à rétablir le niveau. Mais puisqu'on connoît également la situation & la pesanteur du poids qui produit l'inclinaison, on pourra voir si un moment est égal à l'autre, celui du poids à celui de la pesanteur du Navire, ou à sa stabilité effective : & on reconnoîtra aisément de cette sorte si le centre de gravité a réellement la place qu'on vouloit lui donner.

On ne sçauroit dans cette expérience mesurer l'inclinaison du Vaisseau avec trop de précision ; car c'est delà que dépend tout le succès de l'examen. On se servira pour cette mesure ou de la ligne qui est à très-peu près de niveau, que fournit l'horison sensible de la Mer, ou bien d'un fil à plomb qu'on attachera vers la tête du mât, & dont on examinera en bas la distance au mât dans les deux états du Navire, lorsqu'il est censé de niveau, & lorsqu'il est incliné. L'usage du fil à plomb me paroît principalement commode, parce qu'il fournit immédiatement le raport selon lequel le centre de gravité s'éloigne de la verticale du métacentre : car il est facile de voir que ce centre s'éloigne toujours sensiblement de la verticale de l'autre point, dans le même raport que le fil à plomb s'éloigne par en bas du pied du mât. On sera attentif aussi pendant toute la durée de l'opération, de rendre toutes les circonstances absolument les mêmes, afin d'être sûr que l'inclinaison produite, ne vient que de l'application du poids sur le côté du Navire. On aura sans doute besoin du secours de plusieurs personnes pour disposer tout ; mais il faudra les faire ensuite retourner à leur place, pendant qu'on examinera seul la distance du fil à plomb, & qu'on prendra les autres mesures. La pesanteur de deux ou trois personnes, & quelquefois de huit ou dix, peut se négliger dans cette rencontre : au lieu que le poids de tous les hommes qui forment l'équipage, doit produire des changemens si sensibles, que je crois qu'on pourroit s'en servir dans les expériences, comme de celui dont on dispose le plus aisément,

Digitized by Google

ſément, ou qu'il eſt le plus facile de faire paſſer d'un endroit à l'autre. Fig. 55.

On apprendroit par le même moyen la ſituation du centre de gravité du Vaiſſeau, ſi on ne connoiſſoit ſeulement que celle du métacentre. Car ſçachant la quantité du poids P qui produit l'inclinaiſon, & examinant ſa diſtance RZ au métacentre, ou à la verticale qui paſſe par ce point, & ſur laquelle s'exerce la pouſſée de l'eau, on a ſon moment ou ſa force relative qui eſt égale, à cauſe de l'équilibre, à celle de la peſanteur du Navire, ou à ſa ſtabilité. Ainſi il n'y a qu'à diviſer ce moment par la peſanteur totale du Vaiſſeau, & il viendra au quotient la quantité dont le centre de gravité G eſt éloigné de la verticale γZ du métacentre. Si le poids qui fait incliner le Navire eſt de 5 tonneaux, & qu'il ſoit éloigné de 30 pieds de la direction γZ, ſon moment ſera exprimé par 150, & ſi on diviſe ce moment par la peſanteur totale du Navire que je ſupoſe de 1800 tonneaux, on apprendra que le centre de gravité eſt éloigné de la verticale γZ de $\frac{1}{60}$ pied ou d'un pouce. Il ſera facile après cela de découvrir combien le centre de gravité eſt au-deſſous du métacentre g : puiſque, comme nous l'avons déja vû, il y a toujours même raport de la quantité dont le fil à plomb s'éloigne par en bas du pied du mât, à la hauteur même du mât, que de l'intervalle GT (1 pouce) qu'il y a entre le centre de gravité G & la verticale γZ du métacentre, à la quantité Gg, dont un de ces points eſt au-deſſous de l'autre. Si le fil à plomb ſur une longueur de 50 pieds, s'éloigne du mât par en bas d'un pied, on aura cette proportion; 1 eſt à 50, comme la diſtance (1 pouce) du centre de gravité à la verticale du métacentre, eſt à 50 pouces, ou à 4 pieds 2 pouces pour la quantité requiſe Gg, dont le centre de gravité eſt au-deſſous de l'autre point. On peut remarquer que pour rendre cette détermination exacte, il n'eſt pas néceſſaire d'une connoiſſance bien préciſe de la ſituation du métacentre: on pourra ſouvent ſupoſer ce point au milieu de la largeur

Digitized by Google

OC du premier pont. Plus aussi le poids dont on se servira pour faire incliner le Vaisseau, sera petit, plus il faudra le mettre à une grande distance; & plus l'erreur de quelques pouces qu'on pourra commettre sur sa distance horisontale au métacentre, deviendra insensible.

Enfin, dans les cas mêmes où l'on ne connoîtra ni la situation du centre de gravité, ni celle du métacentre, l'expérience dont il s'agit, aura au moins cette utilité très-considérable, d'apprendre si ces deux points sont toujours disposés de la même maniere, l'un par raport à l'autre. On se trouvera de cette sorte en état de profiter des tentatives qu'on aura faites dans les autres voyages, & de retrouver aisément cette disposition du Vaisseau qui contribuë le plus à la vitesse de son sillage, & que les Marins nomment son *assiette*. Ce n'est que par des essais répetés une infinité de fois qu'on a pû saisir jusqu'à présent cette disposition. Quoique les Constructeurs n'oublient jamais de marquer dans leur plan la *ligne d'eau*, ou la ligne jusqu'à laquelle ils se proposent de faire caler leur Navire, il n'est que trop vrai qu'ils n'ont aucune méthode réelle pour reconnoître s'il ne seroit pas plus avantageux qu'il plongeât plus ou moins, & qu'ils ignorent également combien il doit plus enfoncer par la poupe que par la prouë; témoin la régle que nous avons refutée dans le Chapitre X de la premiere Section du premier Livre. C'est pourquoi il faut souvent en Mer se donner de si grandes peines, & quelquefois inutilement, pour trouver l'état dans lequel un Navire single le mieux.

Il s'est quelquefois trouvé des Marins qui ont réussi d'une maniere toute particuliere dans cette recherche. Je vis en passant à Brest à la fin de 1730, qu'on y convenoit assez généralement que feu M. le Chevalier de Goyon * qui vivoit alors, étoit plus heureux ou plus adroit qu'un autre dans ces sortes de tentatives. Bien persuadé que ses essais pouvoient lui servir dans les occasions les plus importantes, il faisoit faire dans son Vaisseau une infinité de

* Capitaine de Vaisseau & Commissaire General d'Artillerie.

Digitized by Google

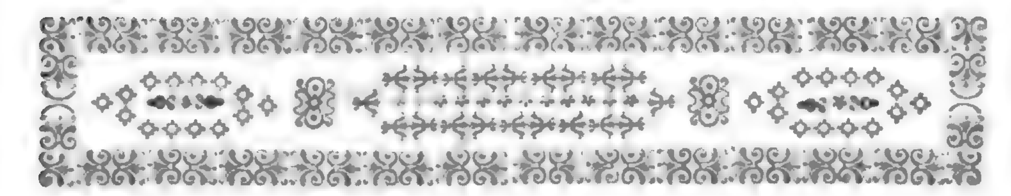
différens changemens, jusqu'à ce qu'il parvenoit à lui donner une disposition avantageuse qu'on ne lui avoit point encore vuë. Il mettoit tout en mouvement, il essayoit toutes les situations; & de cette sorte il tiroit souvent partie du plus mauvais voilier. Mais malheureusement c'étoit un art tout particulier qu'avoit cet habile Officier; & des essais pareils aux siens, ou même faits avec plus de méthode, se borneront toujours à la seule utilité présente, si lorsqu'on a eu le bonheur de trouver *l'assiette*, on n'a pas le soin de la constater, & de prendre, pour ainsi dire, des repaires, pour pouvoir la retrouver infailliblement une autrefois. Ce n'est pas assez de se souvenir en général, que tel Navire demande à être plus chargé vers l'arriere que vers l'avant, ou qu'il faut sur-tout bien prendre garde de ne pas *rendre ses hauts trop pesants*. Des connoissances aussi vagues, dont on s'est contenté jusqu'à présent, n'empêchent pas qu'on ne soit obligé de recommencer un nouveau tâtonnement chaque campagne, & même sans être sur de réussir.

Tous les Vaisseaux ayant sur leur étrave & sur leur étambot une espece *d'échelle* ou de graduation en pieds & en pouces pour marquer la quantité de l'enfoncement de la prouë & de la poupe; on peut, avec cette graduation, sçavoir toujours avec facilité, & si la pesanteur totale est la même, & si elle est outre cela distribuée de la même maniere par raport à la longueur du Vaisseau, si le centre de gravité est plus vers l'avant ou plus vers l'arriere. Cette connoissance qui est déja très-importante, ne suffisant pas, puisque la pesanteur totale, quoique la même, & quoique distribuée de la même maniere dans le sens horisontal, peut avoir son centre plus ou moins haut, il faut avoir recours à l'expérience que nous proposons. Les Pilotes n'oublient jamais de mentionner dans leurs Journaux de combien de tonneaux leur Navire est chargé, la quantité dont il plonge; ils n'obmettent pas même le nombre de canons dont il est armé : ils n'auront qu'à se faire une loi de spécifier aussi toujours le poids qu'il faut

mettre sur son flanc pour le faire incliner d'une quantité déterminée. Et ils pourront observer la même chose à l'égard de quelques autres particularités distinctives que nous indiquerons dans la suite.

Il semble après cela que nous n'ignorerons aucune des circonstances de la pesanteur qui contribuent à la sureté & à la perfection de la Navigation: car que connoître de plus que la quantité de cette pesanteur, & le point précis dans lequel elle se réunit ? Il ne paroît pas même que les Mathématiciens qui ont examiné le plus cette matiere, y ayent soupçonné autre chose. Nous avons cependant à pousser nos Recherches encore plus loin, si nous voulons rendre notre examen complet. La pesanteur d'un Vaisseau peut être précisément la même, se réunir très-exactement dans le même centre, ou dans un point également élevé & également situé par raport à la longueur de la carène, & que ses effets soient très-différens. Ses effets seront précisément les mêmes, tant que le Vaisseau conservera un parfait repos, ou pour parler plus exactement, tant qu'il conservera la même situation; mais ils commenceront à devenir différens aussi-tôt que le Navire sera sujet à ces balancemens qu'on nomme *roulis*, qui se font d'un côté à l'autre, & qui ont même lieu, lorsque le Navire ne single pas. Si quelque cause extérieure, comme l'agitation presque continuelle de la Mer, ou le choc irrégulier de quelques vagues, lui fait perdre sa situation horisontale, il y revient de lui-même avec vitesse: il contracte dans son retour un mouvement qui le fait s'incliner de l'autre côté, & ses oscillations durent quelquefois assez long-tems, pour que la cause extérieure se renouvelle & agisse une seconde fois; ce qui perpetuë le mouvement. Les Lecteurs Géométres voient déja le raport qu'ont ces balancemens avec le mouvement des Pendules qu'on a si fort examiné depuis Galilée & M. Descartes. Mais il s'en faut beaucoup que le raport soit parfait; il admet des différences qu'on ne doit pas manquer de discuter.

Digitized by Google



TROISIE'ME SECTION.

De la diſtribution de la peſanteur du Vaiſſeau par raport au mouvement du roulis.

CHAPITRE PREMIER.

Du point autour duquel le Vaiſſeau fait les balancemens qu'on nomme roulis, & de la part qu'a la peſanteur dans ces balancemens.

I.

AUSSI-TÔT que quelque cauſe extérieure a fait incliner le Navire, deux forces, comme nous l'avons aſſez montré, travaillent toujours à le redreſſer, pourvû que le centre de gravité & le métacentre ſoient diſpoſés comme ils doivent l'être. L'une de ces forces eſt la pouſſée verticale de l'eau, qui agiſſant de bas en haut, ſuſpend, pour ainſi dire, le Navire en le tirant en haut; & l'autre force eſt la peſanteur même du Vaiſſeau qui agit & tire en bas. Le Navire, en revenant à ſa ſituation horiſontale, doit tourner ſur un certain point; & la premiere queſtion qui ſe préſente à réſoudre, & qui eſt, peut-être, la plus difficile, eſt de déterminer quel eſt ce point. On eſt d'abord tenté de croire qu'il eſt préciſément entre les deux cêntres dans leſquels ſe réuniſſent la pouſſée de l'eau & la peſanteur du Navire; & cela, parce qu'on voit

que ces deux forces qui agiſſent ſeules dans cette rencontre, ſont parfaitement égales; les deux forces réſident l'une au centre de gravité du Navire, l'autre au centre de gravité de la partie ſubmergée; elles doivent donc faire tourner le Vaiſſeau ſur le point du milieu. On n'a pas fait autant d'attention à cette queſtion d'Hydroſtatique qu'elle le méritoit; peu de perſonnes en ont traité: mais c'eſt ſous cette même face qui eſt effectivement très-plauſible, qu'elle s'eſt offerte à preſque tous ceux qui l'ont examinée. Je n'ai vû enfin aucun Auteur qui ne ſe ſoit trompé dans cette Recherche. Borelli a prétendu, par exemple, dans ſon Traité *de motu animalium*, que les corps ſubmergés tournoient autour de leur centre de figure, & il n'en a été cenſuré que par quelques perſonnes qui tomboient dans l'autre erreur, dont je viens de parler *.

Il eſt vrai que ſi deux puiſſances égales appliquées aux deux extrémités d'un levier, agiſſent perpendiculairement à ce levier en ſens contraires, elles le feront tourner préciſément ſur ſon milieu: car ſur quel autre point le feroient-elles tourner? L'égalité parfaite qui ſe trouve entre les deux puiſſances, de même qu'entre leurs diſpoſitions, fait qu'il n'y a pas plus de raiſon pour que *le centre de converſion* ſoit plus vers une extrémité que vers l'autre; il eſt donc, non pas phyſiquement, mais métaphyſiquement, néceſſaire qu'il ſe trouve au milieu. Mais ce n'eſt que lorſque le levier eſt d'une peſanteur égale dans toute ſa longueur, ou que lorſqu'on fait abſtraction de ſa peſanteur: car s'il eſt plus peſant vers une extrémité, ce ſera une raiſon pour que le centre de rotation s'en approche; puiſque cette extrémité ſera moins facile à mouvoir, pendant que l'autre ſera plus mobile. Il eſt clair encore que plus le centre de gravité du levier avancera vers la même extrémité, ou que plus cette extrémité ſera peſante par raport à l'autre, plus le centre de converſion doit s'en approcher. Or on doit faire attention que dans le cas dont il s'agit actuellement, le centre de gra-

* Ceci étoit exactement vrai, lorſque je l'écrivois. Ce n'eſt qu'à mon retour du Pérou que j'ai vû que M. Bernoulli avoit réſolu le même Problême dans le quatriéme Tome de ſes Oeuvres publiées en 1742. M. Euler en avoit déja donné une autre ſolution, qui ne peut pas manquer d'être auſſi très-élégante; mais elle ne m'eſt pas encore tombée entre les mains.

Digitized by Google

vité, bien loin d'être au milieu du levier auquel la pouſ- Fig. 65
ſée de l'eau & la peſanteur du Navire ſont appliquées, ſe trouve à l'extrémité même dans laquelle agit la peſanteur, ou l'une des deux forces. Ainſi le centre de converſion ne doit pas être au milieu, mais beaucoup plus près du centre de gravité du Vaiſſeau. C'eſt ce qu'on voit déja avec évidence; & ſi on examine la choſe avec un peu plus d'attention, on s'appercevra que le centre de converſion eſt dans le centre de gravité même.

II.

Si dans la figure 65 le point g eſt le métacentre auquel on peut ſupoſer qu'eſt attachée la force verticale de l'eau, puiſque l'action d'une puiſſance eſt la même dans tous les points de ſa direction; & que G ſoit le centre de gravité commun du Vaiſſeau & de ſa charge; nous pouvons négliger la partie de la pouſſée verticale de l'eau, de même que celle de la peſanteur totale du Navire, qui agiſſent ſelon le levier même gG, pour ne conſiderer que les ſeules parties qui agiſſent perpendiculairement. Les deux forces abſoluës, la pouſſée verticale de l'eau & la peſanteur totale du Navire, ſont parfaitement égales; les parties de ces mêmes forces qui agiſſent perpendiculairement à gE, & qui ne ſe détruiſent pas, parce qu'elles s'exercent ſur des lignes qui ne ſont pas directement opoſées, le ſont donc auſſi: c'eſt-à-dire que pendant que le Vaiſſeau eſt incliné, ou que gE n'eſt pas verticale, le métacentre g eſt pouſſé ſelon gZ, précíſément avec la même force que le centre de gravité G eſt pouſſé vers S. Ce ſont ces deux forces relatives qui font prendre à la ligne gE, la ſituation verticale *ge*, en faiſant tourner le Vaiſſeau ſur le centre G, ou ſur quelqu'autre point: mouvement qui ne peut pas ſe faire, ſans que preſque toutes les parties du Navire changent de place. Le point g étant tranſporté en *g*, & le point E en *e*, les autres points changent à proportion: & comme ils ont tous de *l'inertie*, ou qu'ils

Fig. 65. ne prennent du mouvement qu'en y résistant, la résistance que font tous les points qui sont au-dessus du centre de conversion G, fait le même effet qu'une puissance qui agiroit de M vers P dans le sens contraire au mouvement; en même tems que la résistance de tous les points qui sont au-dessous du centre de conversion, & qui se meuvent de E vers *e*, doit faire le même effet qu'une puissance égale qui agiroit de N vers Q. Cette résistance ou cette force de *l'inertie* que Képler a reconnu le premier, est incontestable. Tous les phénomenes nous l'annoncent; elle ne se manifeste pas moins, lorsquil s'agit de communiquer du mouvement aux corps, que lorsqu'il s'agit de le détruire : de sorte qu'elle est réellement la force avec laquelle chaque chose persiste dans sa maniere d'être, & le nom *d'inertie* n'exprime qu'imparfaitement sa nature, puisqu'il ne répond bien qu'à une de ses proprietés.

Nous avons donc en tout quatre forces à considerer; sçavoir, les deux premieres qui agissent selon gZ & selon GS, & les deux secondes qui s'exercent selon MP & NQ, & qui ne sont que passives, puisqu'elles ne doivent leur action qu'à celle des deux premieres. Il est évident que ces quatre forces doivent être dans un parfait équilibre. Car ce n'est que cet équilibre qui peut limiter l'effet des deux premieres puissances, & qui peut l'empêcher d'être plus grand, par cette loi de la Nature qui est toujours inviolablement observée, que l'action & la réaction sont égales. Or pour que les quatre forces dont il s'agit, soient effectivement en équilibre, il faut que la force composée des deux qui agissent selon les directions paralleles gZ & NQ, soit parfaitement égale à la force composée des deux autres qui agissent sur les directions GS & MP paralleles entr'elles, & directement contraires à gZ & à NQ. Et si l'on fait attention que ces forces composées sont égales à la somme des forces qui les composent, à cause du parallelisme des directions, & qu'outre cela la force qui agit selon GZ, & qui nait de

la

la poussée de l'eau, est parfaitement égale à la force qui agit selon GS, & qui naît de la pesanteur totale du Navire, on conclura que les deux autres forces, qui agissent selon MP & NQ, doivent être aussi nécessairement égales. C'est-à-dire que la quantité du mouvement que reçoivent toutes les parties qui sont au-dessus du centre de conversion, doit être égale à la quantité de mouvement que reçoivent les parties qui sont au-dessous. Fig. 65.

III.

Ainsi la question se réduit à découvrir quel est le point autour duquel il faut que tourne un corps, pour que les quantités de mouvemens que reçoivent les parties supérieures & inférieures, soient toujours parfaitement égales. Mais comme tous les Lecteurs qui sont un peu versés dans les Mécaniques, sçavent qu'il n'y a que le centre de gravité qui ait cette proprieté singuliere, par laquelle il est même caracterisé, le Problême est tout résolu; il n'est plus permis de douter que ce ne soit autour de son centre de gravité que le Vaisseau fait ses balancemens. S'il étoit possible qu'il les fît autour de quelqu'autre point au-dessus de G, le mouvement que recevroient les parties inférieures, seroit plus grand que celui que recevroient les supérieures, & il n'y auroit plus d'équilibre; la résistance ou la force selon NQ, seroit trop grande, & elle retarderoit le transport de toutes les parties GE; ce qui feroit nécessairement descendre le centre de conversion. Il arriveroit tout le contraire, si le Vaisseau tournoit d'abord autour de quelque point situé au-dessous de G. Ce n'est enfin que lorsque le mouvement se fait exactement autour du centre de gravité, que le centre de conversion ne change point. Il faut remarquer qu'on néglige ici la résistance que fait l'eau aux balancemens du Navire; de même qu'on néglige ordinairement la résistance que fait l'air au mouvement des pendules. Cette résistance est comme nulle, par raport

Digitized by Google

Fig. 65. aux autres forces que nous considérons, parce que quelque grandes que soient les oscillations du Navire, il n'a jamais, à cause de sa figure, que peu d'eau à déplacer, & qu'il ne la choque qu'avec assez peu de vitesse. On supose encore que les inclinaisons alternatives ne sont pas assez grandes, pour que le métacentre change sensiblement de hauteur par raport au centre de gravité.

IV.

Aussi-tôt qu'on s'est convaincu que le Vaisseau fait ses balancemens autour de son centre de gravité, on voit évidemment que la pesanteur ne doit plus tendre à le faire tourner, elle ne travaille qu'à conserver au point G sa stabilité; & les Balancemens ne sont produits que par la seconde puissance qui agit selon gZ, & qui naît de la force verticale qu'a l'eau pour pousser en haut. Cette puissance agit contre l'inertie, ou contre la résistance que font toutes les parties du Vaisseau à se mouvoir, ou à tourner autour du centre de gravité G; mais cette puissance, quoique la même, aura plus d'avantage pour vaincre cette inertie, & pour faire balancer le Vaisseau avec vitesse, toutes les fois qu'elle sera appliquée à un bras de levier Gg plus long. Ainsi on voit que toutes les autres circonstances étant les mêmes, plus le centre de gravité du Vaisseau sera bas, plus les mouvemens du roulis doivent être prompts. Ceci est d'autant plus paradoxe, qu'il semble que ce qu'on sçait du mouvement des pendules, dont la longueur rend les vibrations plus lentes, devoit faire attendre autre chose. Mais ce que la Théorie vient de nous apprendre avec évidence, l'expérience l'a déja confirmé une infinité de fois, au grand étonnement de plusieurs personnes. On est obligé dans plusieurs occasions, de mettre dans la cale une partie de l'artillerie & des autres choses pesantes qui sont sur le pont; mais on n'a jamais manqué d'éprouver sur le champ que les oscillations du roulis acquerroient une plus grande promptitude.

Digitized by Google

V.

Sans changer le centre de gravité de place, on peut encore faire varier la durée des balancemens du Vaisseau, selon la situation qu'on donnera aux parties plus ou moins pesantes par raport à ce centre. Si on éloigne de part & d'autre les choses qui ont le plus de poids, & qu'on raproche au contraire les plus legeres, ces parties plus pesantes auront ensuite plus de mouvement à prendre dans les oscillations du Navire; elles résisteront par conséquent davantage par leur inertie; & outre cela cette résistance sera appliquée à un bras de levier plus long. C'est une double raison pour que les oscillations se fassent ensuite avec moins de promptitude. Si les choses pesantes sont à deux ou trois fois plus de distance, elles résisteront quatre fois ou neuf fois davantage. Ce sera tout le contraire, lorsqu'on approchera de part & d'autre du centre de gravité les parties d'un grand poids, & qu'on en éloignera les legeres: car les parties pesantes n'ayant ensuite que des arcs de petit cercle à décrire, ou que peu de mouvement à recevoir, elles feront moins ressentir leur inertie, & les vibrations deviendront donc plus promptes. Cependant le centre de gravité sera toujours dans le même endroit, & l'action de la pesanteur totale sera absolument la même, tant qu'il ne s'agira pas des mouvemens que nous considérons actuellement. On reconnoît donc maintenant la vérité de ce qu'on a avancé ci-devant, qu'il ne faut pas se contenter d'examiner la quantité de la pesanteur totale du Vaisseau, & la situation du centre dans lequel elle se réunit; mais qu'il y a encore une troisiéme particularité à laquelle il faut être extrémemet attentif; sçavoir à la distribution des parties plus legeres & plus pesantes, dont cette pesanteur est formée.

VI.

On peut au reste constater toujours fort aisément cette

distribution, & reconnoître si elle ne change pas pendant le voyage, ou si elle est la même dans une campagne que dans une autre; afin de pouvoir ensuite y apporter les modifications convenables. On ne manque jamais dans les Vaisseaux d'avoir pour les besoins indispensables du Pilotage, plusieurs horloges ou sabliers d'une minute, ou d'une demi-minute. Il est toujours facile, après qu'on s'est assuré par les moyens déja expliqués que la pesanteur du Navire est la même, & qu'elle se réunit exactement dans le même centre, de voir combien le roulis fait faire de balancemens ou d'oscillations dans une minute, ou dans tout autre tems. S'il en fait toujours faire le même nombre, ce sera une marque que la distribution des choses pesantes & legeres, sera exactement la même; au lieu que si l'on y trouve de la différence, on apprendra non-seulement que la distribution est différente, on sçaura ce qu'il y aura à y changer. Il faudra pour faire l'expérience avec succès, choisir exprès le tems où la Mer est peu agitée; car ce n'est qu'alors que les oscillations du Vaisseau sont sensiblement isochrones. Il est bien clair que si pendant que le Vaisseau *roule*, une force étrangere vient lui imprimer de nouveaux balancemens, elle alterera presque toujours la régularité des premiers. J'ai remarqué plusieurs fois, en m'en revenant sur *le Triton*, petit Navire de Nantes d'environ 180 tonneaux, que chaque oscillation étoit d'un peu plus de $4\frac{1}{2}''$, & souvent ce Navire en faisoit 14 ou 15 de suite; au lieu que d'autres Bâtimens en font 30 ou 40.

Le roulis est-il trop vif, & craint-on qu'il fasse tomber les mâts? on pourroit remedier à cet inconvénient en élevant le centre de gravité; mais comme le Navire porteroit ensuite moins bien la voile, & qu'on courroit de plus grands risques, il vaut infiniment mieux, en laissant toujours le centre de gravité dans la même place, ou même en le portant encore plus bas, en éloigner le plus qu'on peut les choses qui sont d'un plus grand poids, & en raprocher au contraire celles qui sont plus legeres. Lors-

Digitized by Google

que dans le Chapitre III. de la premiere Section de ce second Livre, on a parlé du soufflage ou du renflement qu'on fait quelquefois à la carène, on a montré, contre le sentiment ordinaire, qu'il ne pouvoit pas faire tort à la Navigation par sa pesanteur: il n'étoit pas tems de dire alors, & on ne nous eût pas cru, qu'il nuisoit plus souvent par son trop de legereté, sur-tout lorsqu'au lieu d'appliquer les nouveaux bordages sur les anciens, on les pose sur des tacquets. On voit maintenant qu'on ne sçauroit le former de matieres trop pesantes, ni en introduire aussi de trop pesantes dans le doublage. Ce sera déja un lest placé avantageusement que le Vaisseau portera toujours avec lui; & il n'y aura qu'à en mettre une moindre quantité d'autre. Il y a toute apparence que ce qu'on vient de dire, suffit pour l'usage ordinaire : Nous croyons avoir déja répandu un grand jour sur tout ce que les Marins nomment *arrimage :* afin néanmoins d'éclaircir davantage toute cette matiere, nous allons ajouter encore la solution de quelques Problêmes qui y apartiennent.

CHAPITRE II.

Connoissant la figure du Vaisseau & la distribution de ses parties, trouver la durée de ses oscillations, ou de ses balancemens dans le roulis.

I.

ON ne sçauroit mieux exprimer la durée des oscillations d'un Vaisseaux sujet au roulis, que par la longueur d'un pendule simple, dont les vibrations soient synchrones ou de même durée. C'est donner à cette durée une mesure connuë : car on sçait les tems qu'employent dans leurs oscillations les pendules de toutes les diverses longueurs : ces temps sont comme les racines quarrées des longueurs; de sorte qu'un pendule 4 fois ou 9 fois plus long, ne met que deux ou trois fois plus de

Fig 65. & 66. tems à faire ses vibrations. Je nomme z la longueur de ce pendule qui s'accorderoit dans ses balancemens avec le Navire, & g la vitesse que lui donneroit la pesanteur. Je désigne par P la pesanteur ou masse totale du Vaisseau formée des masses particulieres T, t, &c. (Fig. 66) de toutes les parties qui sont éloignées du centre de gravité G des distances D, d, &c.

Toutes ces parties doivent dans le roulis recevoir d'autant plus de vitesse, qu'elles sont plus éloignées du centre de gravité G, puisqu'elles décrivent des arcs de plus grand cercle; & comme les oscillations du Vaisseau sont synchrones avec celle du pendule, nous pouvons faire cette analogie: la longueur z de ce pendule est à la vitesse g, comme les distances D ou d, &c. sont aux vitesses $\frac{gD}{z}$ ou $\frac{gd}{z}$, &c. que prendront les différentes parties du Vaisseaux, selon leur distance du centre de gravité autour duquel elles se balancent. Les vitesses de ces parties multipliées par leur masse ou par leur pesanteur particuliere T, t, &c. nous aurons $T \times \frac{gD}{z}$, $t \times \frac{gd}{z}$, &c. pour le mouvement de rotation de ces parties, mouvement qui est produit par l'action de la poussée verticale de l'eau appliquée en g. Mais ce mouvement qui ne se reçoit qu'avec peine, résiste, comme nous l'avons déja assez expliqué, & résiste d'autant plus qu'il est appliqué à une plus grande distance du centre de gravité qui sert dans la circonstance présente de point d'apui ou d'hypomoclion. Il faut donc multiplier les mouvemens $T \times \frac{gD}{z}$ & $t \times \frac{gd}{z}$, &c. par les distances D & d, &c. pour en avoir le moment ou l'énergie; & il viendra $T \times \frac{gD^2}{z} + t \times \frac{gd^2}{z} +$ &c. pour le moment de la résistance que font toutes les parties du Vaisseau à tourner autour du centre G.

Ce moment doit être égal à celui de la poussée de l'eau, qui tend à faire tourner le Navire. Cette poussée étant égale à la pesanteur du Vaisseau, est exprimée par le

Digitized by Google

produit Pg de la masse P par la vitesse g, que communique la gravité par son action simple. Mais la force Pg étant appliquée en g au bras du levier $gG=k$, a pour moment Pgk. Ainsi nous avons l'équation $T\times\frac{gD^2}{z}+t\times\frac{gd^2}{z}$ $+$ &c. $= Pgk$, dont on tire la formule $z=\frac{T\times D^2+t\times d^2+\&c.}{Pk}$ qui nous donne cette régle générale pour trouver la longueur z du pendule simple, dont les oscillations sont de même durée que celle du Vaisseau. *C'est de multiplier la pesanteur de toutes les parties du Navire par le quarré de leur distance particuliere en centre de gravité* G, *& de diviser la somme* ($T\times D^2+t\times d^2+$ *&c.*) *de tous ces produits par la pesanteur totale* P *du Vaisseau multipliée par la quantité* (k), *dont le centre de gravité est au-dessous du métacentre; & il viendra au quotient la longueur requise du pendule synchrone.* Fig. 66.

Cette régle, ou ce qui est la même chose, la formule $z=\frac{T\times D^2+t\times d^2+\&c.}{Pk}$, nous confirme les remarques faites dans le Chapitre précedent, & peut nous en sugerer de nouvelles, sur le plus ou le moins de promptitude des oscillations du roulis. Puisque ces oscillations s'accordent avec celles du pendule, dont les longueurs z sont en raison inverse de k, il doit arriver, comme nous l'avons déja dit dans les balancemens du Vaisseau, le contraire de ce qui arrive dans le mouvement des pendules simples. *Les durées des oscillations qui sont comme les racines quarrées de* z, *doivent être en raison inverse des racines quarrées des quantités* k, *dont le centre de gravité du Vaisseau est au-dessous du métacentre.* Si cette quantité k est quatre fois plus petite, les oscillations se feront avec deux fois plus de lenteur : si k est 100 fois plus petite, les mouvemens du roulis seront dix fois moins vifs : car la longueur z du pendule synchrone sera 100 fois plus grande ; & un pendule 100 fois plus long, met 10 fois plus de tems à faire ses vibrations.

On voit avec la même évidence que plus les diverses

Fig. 66. parties du Vaiſſeau ſeront éloignées du centre de gravité ; plus le pendule ſynchrone aura de longueur, & on voit même que cette longueur eſt proportionelle aux quarrés des diſtances D : d'où il ſuit que les durées des oſcillations qui ſont comme les racines quarrées des longueurs des pendules ſeront comme les diſtances mêmes D. C'eſt-à-dire, que ſi toutes les diſtances ſont trois ou quatre fois plus grandes, les oſcillations du roulis ſe feront trois ou quatre fois plus lentement.

Nous ſuprimons quelques autres reflexions pour nous borner à cette derniere : *Que ſi deux Vaiſſeaux ſont parfaitement ſemblables, ou s'ils ont ſimplement pour coupes verticales, faites perpendiculairement à leur longueur, des figures ſemblables, la durée de leurs oſcillations ſera comme la racine quarrée de la largeur ou de quelqu'autre dimenſion ſimple des coupes ;* de ſorte que ſi la largeur de l'un eſt, par exemple, quatruple de celle de l'autre, le premier fera ſes balancemens deux fois plus lentement. Il n'y a, pour en voir la raiſon, qu'à ſupoſer que les deux Vaiſſeaux ſont diviſés en un égal nombre de parties ; mais de parties plus petites ou plus grandes proportionellement. De là il s'enſuivra que le raport des peſanteurs particulieres T à la peſanteur totale P ſera toujours le même, & que la longueur z du pendule ſynchrone ne variera qu'à cauſe du changement que reçoit le raport ou la fraction $\frac{D^2 + d \ + \&c.}{k}$. Or comme ces diſtances D & la quantité k changent dans le même raport, la fraction $\frac{D^2 + d^2 + \&c.}{k}$ doit changer dans la raiſon ſimple des diſtances D, ou en même raiſon que les largeurs du Navire. C'eſt-à-dire, que ſi le Navire eſt deux ou trois fois plus large, le pendule ſynchrone ſera deux ou trois fois plus long, & les durées des oſcillations ſeront donc comme les racines quarrées de deux ou de trois ; ou en général comme les racines quarrées des largeurs.

III.

Au ſurplus, l'aplication de notre régle ne ſera jamais difficile

Digitized by Google

difficile, soit qu'on considere le Vaisseau comme un corps géométrique homogene, soit qu'on le considere dans son état actuel & comme formé d'un nombre fini de parties de différentes pesanteurs. Suposé que le Navire ait la figure d'un parallelipipede rectangle dont la pesanteur soit également distribuée par tout, & qu'on exprime la largeur & la profondeur par a & b, on trouvera $\frac{1}{12}ab^3 + \frac{1}{12}a^3b$ pour le moment du mouvement de toutes les parties autour du centre de gravité. C'est ce moment qu'il faut diviser par le produit de la pesanteur totale du Navire multipliée par la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité. Cette hauteur est $\frac{a^2}{12c} + \frac{1}{2}c + \frac{1}{2}b$*, aussi-tôt qu'on nomme toujours a la largeur du Bâtiment & c la quantité dont il plonge dans la Mer; & si on multiplie cette hauteur par le rectangle ab, qui est la coupe verticale faite perpendiculairement à la longueur du Navire, & qui doit représenter la pesanteur totale dans le cas present, on aura le produit $\frac{a^3b}{12c} + \frac{1}{2}abc - \frac{1}{2}ab^2$, par lequel il faut diviser le moment $\frac{1}{12}ab^3 + \frac{1}{12}a^3b$; & il viendra $\frac{b^2c + a^2c}{a^2 + bc^2 - 6bc}$ pour la longueur du pendule synchrone.

Fig. 66.

* Voyez le Chap. III. de la Sect. précédente.

S'il s'agissoit particulierement de l'Arche de Noé qui avoit 50 coudées de largeur, & qu'on suposât, comme nous l'avons déja fait, que ce Bâtiment enfonçoit dans les eaux du Déluge de 10 coudées, ou du tiers de sa hauteur, on auroit alors $\frac{b^3 + a^2b}{3a^2 - 4b^2}$, qui nous aprend que le pendule simple synchrone étoit de $26\frac{2}{3}$ coudées. On ne sçait pas avec certitude le raport de cette ancienne mesure avec les nôtres; mais si on la supose de $1\frac{1}{2}$ pied, le pendule synchrone sera de $39\frac{3}{13}$ pieds dont les oscillations sont de 3″ 33‴ à proportion du pendule simple de 36 pouces $8\frac{5}{9}$ lignes, qui en France & dans tous les autres pais qui sont à peu près par la même latitude, bat exactement les secondes, ou qui met 60 tierces à faire chaque oscillation simple. C'est ce qu'on trouve par cette analogie; 36 pouces $8\frac{5}{9}$

Vu

Fig. 66. lignes en à 3600 quarré de 60 tierces, comme $39\frac{1}{3}$ pieds est à 45496 dont la racine quarrée est 213 tierces ou 3 secondes 33 tierces. Ainsi les balancemens de l'Arche devoient être extrémement vifs ; à moins que la distribution de sa charge, comme il y a lieu de le croire, ne contribuât à les rendre plus lents.

I V.

C'est la même chose dans tous les Navires qui n'ont point d'artillerie & qui sont dématés. La mâture, quoique peu pesante par raport au reste du Vaisseau, s'opose extrémement à la vitesse des balancemens, parce que sa grande hauteur fait qu'elle a un grand arc de cercle à décrire ou beaucoup de mouvement à recevoir, & qu'elle y résiste à proportion, en ne prenant ce mouvement qu'avec difficulté. Il lui arriveroit même souvent, sans les haubans, les étays & tous les autres cordages qui la soutiennent, ce qui arrive quelquefois à une baguette, qui se refusant à la trop grande vitesse que la main tend à lui imprimer, se rompt par le bas, pendant que son extrémité supérieure reste en arriere. Il est évident qu'on peut se servir de notre regle pour trouver immédiatement la longueur du pendule synchrone, aussi-bien pour les Vaisseaux mâtés que pour ceux qui ne le sont pas : mais après qu'on aura fait cette recherche pour le Navire consideré, il n'importe en quel état, on peut, lorsqu'on fait quelque changement, quoique considérable à la distribution de la charge ou de quelqu'autre partie, s'aider toujours de la premiere détermination, & se contenter de découvrir l'effet particulier que doit produire le nouvel arrangement.

Digitized by Google

CHAPITRE III.

Trouver le changement que doit apporter aux balancemens du roulis la transposition de quelques parties dans le Vaisseau, avec quelques remarques sur le tangage.

I.

SOIT qu'on mâte un Vaisseau qui ne l'étoit pas, ou qu'on lui fasse quelqu'autre changement, il n'y aura jamais de difficulté à découvrir par les regles ordinaires de la Statique, combien son centre de gravité aura changé de place. Lors qu'on augmente ou qu'on diminue la pesanteur totale du Navire, il arrive aussi que la carène ou la partie sumergée n'est plus la même, & que par conséquent le métacentre se trouve plus haut ou plus bas. Mais toutes les fois qu'on ne fera qu'une simple transposition de parties dans le Vaisseau, le métacentre ne changeant point, il n'y aura que le centre de gravité qui souffrira quelque variation. Nous suposons ce changement déja découvert, & que le Vaisseau (Fig. 66) qui avoit son centre de gravité en G, l'a maintenant en γ; il est donc principalement question de trouver combien le moment ou l'énergie du mouvement de toutes les parties du Vaisseau, augmente ou diminue lorsque le mouvement de rotation se fait autour du centre γ, au lieu de se faire autour de G. On nommera S ce moment total par raport au centre G : si on ne l'a pas encore trouvé par l'aplication de la régle, on le découvrira toujours aisément par l'expérience, en examinant avec un sablier la durée des oscillations du roulis. Suposé que P désigne encore la pesanteur totale du Vaisseau; k la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité, & z la longueur du pendule synchrone, Fig. 66.

Digitized by Google

Fig. 66. on aura $z = \frac{S}{Pk}$ dont on tirera $S = Pkz$, qui exprime en grandeurs parfaitement connuës la somme S qu'on vouloit avoir, de tous les momens par raport au centre G. Cette somme totale des momens est égale, comme on le voit, au produit de la pesanteur du Navire par la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité, & par la longueur du pendule synchrone ou du pendule qui fait ses oscillations précisément dans le même tems que le Vaisseau fait ses balancemens.

II.

Mais ce moment ne doit plus être le même aussi-tôt que le Vaisseau roule sur un autre point γ. Si ce nouveau centre de gravité est plus bas, toutes les parties supérieures comme T, en seront plus éloignées, & le quarré des distances $T\gamma$, par lequel la masse de chaque partie doit être multipliée, sera précisement plus grand de la quantité dont le quarré de $I\gamma$ est plus grand que celui de IG. Il ne faut pour le voir que faire attention que le quarré de $T\gamma$ est égal au quarré de TI & de $I\gamma$; au lieu que celui de TG étoit égal à ceux de TI & de IG. Ainsi le quarré de la distance $T\gamma$ est plus grand que celui de TG de deux rectangles de IG par $G\gamma$, & outre cela du quarré de $G\gamma$. Le quarré de la distance des parties inférieures comme t, changera en même tems & par la même raison du quarré de $G\gamma$, moins deux rectangles de Gi par $G\gamma$. Mais le produit de toutes les parties variables GI par la pesanteur des parties supérieures correspondantes T étant égal (à cause de la propriété du centre de gravité) au produit de toutes les parties variables Gi par la pesanteur des parties inférieures, les produits multipliés de part & d'autre par $G\gamma$, ou par le double de $G\gamma$, doivent être encore égaux; & puis qu'ils sont positifs pour les parties supérieures & négatifs pour les inférieures, ils doivent se détruire dans la somme totale, laquelle ne doit par conséquent recevoir aucune alteration par cet endroit. Il n'y a donc que les quarrés de $G\gamma$ qui étant additifs de

Digitized by Google

part & d'autre, doivent, en se multipliant par toutes les parties tant supérieures qu'inférieures du Vaisseau, faire augmenter la somme des momens. Ainsi cette somme qui étoit désignée auparavant par S, le doit être maintenant par $S + P \times \overline{G\gamma}^2$. Et il est donc démontré qu'aussi-tôt que le Vaisseau ou tout autre corps tourne sur un point différent de son centre de gravité, le moment des mouvemens de toutes les parties se trouve toujours plus grand; & qu'il l'est du produit de la masse du corps par le quarré de la distance du centre de rotation au centre de gravité. Fig. 66.

III

Il ne reste plus après cela qu'à remarquer que dans l'expression $S + P \times \overline{G\gamma}^2$ du moment total, la transposition des parties n'est comptée pour rien, & que le changement découvert ne vient simplement que de ce qu'on considere le mouvement de rotation autour du point γ, au lieu de le considerer autour du point G. Ainsi lorsqu'on a ajouté quelques nouveaux poids ou lorsqu'on en a transposé quelques uns, il faut encore examiner expressement le moment particulier de ces parties ou le changement qu'il a reçû & l'ajouter à $S + P \times \overline{G\gamma}^2$. S'il s'agit de parties simplement transposées, & qu'elles fussent éloignées de la distance D du centre γ dans leur premiere situation, & de la distance d dans la seconde, & qu'on désigne par p leur pesanteur, le changement que souffrira le moment de leur mouvement sera représenté par $p \times \overline{d^2 - D^2}$, & ce sera cette quantité qu'il faudra ajouter à $S + P \times \overline{G\gamma}^2$ pour avoir le moment total $S + P \times \overline{G\gamma}^2 + p \times \overline{d^2 - D^2}$, eu égard à tout. Enfin divisant ce moment selon la régle par la pesanteur totale P du Vaisseau multipliée par k, qui désigne la quantité dont le nouveau centre de gravité γ est au-dessous du métacentre, il viendra $\frac{S + P \times \overline{G\gamma}^2 + p \times \overline{d^2 - D^2}}{P \times k}$ pour la lon-

Fig. 66. gueur requise du pendule, dont les oscillations sont précisément de même durée que celles du Navire, après le changement fait dans la situation de ses parties.

IV.

Prenons pour exemple un Vaisseau dont la pesanteur totale P est de 3000 tonneaux, dont le centre de gravité est quatre pieds au-dessous du métacentre & dont les balancemens dans le roulis sont de 5 secondes, ou sont de même durée que celles d'un pendule simple d'environ 76 $\frac{1}{2}$ pieds. Si en abattant la mâture qui peut peser 70 tonneaux, on remplace sa pesanteur par un poids égal mis à 10 pieds de distance de l'endroit où se trouvera ensuite le centre de gravité, qui aura, on le supose, descendu de 1 $\frac{1}{2}$ pieds, on aura $P \times \overline{G\gamma}^2 = 6740$, (produit de 3000 tonneaux par le quarré de 1 $\frac{1}{2}$ pied) qu'il faudra ajouter à $S = Pkz = 918000$, & il viendra 924750 pour $S + P \times \overline{G\gamma}^2$. Mais comme la mâture, lorsqu'elle étoit en pied, faisoit à peu près le même effet que si elle avoit été réunie dans un point élevé de 83 $\frac{1}{2}$ pieds au-dessus du centre de gravité G, & de 85 au-dessus de γ, la valeur de $p \times \overline{d^2 - D^2} = 70 \times \overline{10}^2 - \overline{85}^2 = 498750$ sera négative, & nous aurons par conséquent 426000, pour le moment total $S + P \times \overline{G\gamma}^2 + p \times \overline{d^2 - D^2}$. Enfin si l'on divise ce moment par 16500 qui est le produit de 3000 tonneaux par la valeur 5 $\frac{1}{2}$ pieds qu'a actuellement k, puisque le centre de gravité du Vaisseau est descendu de 1 $\frac{1}{2}$ pied, il ne viendra pas tout à fait 26 pieds pour la longueur du pendule, dont les oscillations seront synchrones avec celles du roulis. Cela nous aprend que les balancemens du Vaisseau seroient beaucoup plus vifs; ils le seroient en même raison que la racine quarrée de 76 $\frac{1}{2}$ pieds est plus grande que celle de 26; puisque les durées des oscillations sont comme les racines quarrées des longueurs des pendules. Le Vaisseau

Digitized by Google

qui employoit 5 secondes à faire chaque balancement simple, c'est-à-dire, à tomber d'un bord à l'autre, en employeroit ensuite moins de 3 ; il n'employeroit que 2 secondes 53 tierces. La différence peut, de cette sorte, aller assez loin, pour qu'il soit quelquefois impossible aux meilleurs Matelots de se tenir sur le Pont, & pour qu'on ait aussi tout à craindre d'un roulis si rude.

V.

Il faut remarquer qu'on ne peut rien apliquer de ce que nous venons de dire, aux balancemens du tangage, parce qu'ils ne se perpetuent pas de la même façon que ceux du roulis. Le Navire ne pouvant pas faire d'oscillations dans le sens de sa longueur, sans déplacer beaucoup d'eau vers l'avant & vers l'arriere par le grand mouvement que reçoivent ses deux extrémités, ces balancemens ne peuvent continuer d'eux mêmes ; ils ne doivent se répeter qu'autant qu'ils sont reproduits derechef par l'agitation de la Mer qui ne cesse pas. Le fort de la sécousse se fait ressentir lorsque la prouë ou la poupe cessant d'être assez soutenuë, retombe tout à coup par son poids. L'arcasse qui en est ébranlée est quelquefois frapée avec tant de violence, que le plus grand nombre des Marins croyent que certains Navires sont sujets à *acculer* ; c'est-à-dire, à reculer pendant quelques instans de leur marche ; comme si un Vaisseau qui single à toutes voiles, qui fait deux ou trois lieuës par heure, & 10 à 12 pieds par seconde, pouvoit aller tout à coup en sens contraire, & reprendre dans le même instant toute sa vitesse dans le premier sens. Nous avons dit dans le premier Livre qu'il n'y a qu'à grossir un peu la prouë & la poupe, afin qu'elles retrouvent plutôt en tombant le soutien dont elles ont besoin. On doit pour se conformer à ce conseil, ou à ce précepte, se souvenir entre autres choses de ne pas trop augmenter la hauteur des façons, principalement par devant. Lorsque cette hauteur est portée trop loin, ou lorsque le corps proprement dit de la prouë est trop élevé au-dessus de la quille, pour peu que la Mer

ſe retire de deſſous, toute l'extrémité du Navire ſe trouve en l'air. Ce ne ſera pas la même choſe, lorſque la hauteur des façons ſera médiocre, quoique la prouë ſoit plus étroite: ſa partie d'en bas occupera toujours quelque place dans l'eau dont elle ne ſortira jamais; & la pouſſée verticale de la Mer moderera néceſſairement la viteſſe de la chute.

Un dernier moyen qui ſupléera à tous les autres, au moins dans les Corvettes & dans tous les autres Navires dont il n'eſt queſtion que d'accelerer la marche; c'eſt d'accumuler le leſt vers le milieu de la carène & d'en débaraſſer totalement les extrémités, qu'on s'attachera en même tems à rendre les plus legeres qu'il ſera poſſible. Il eſt d'uſage de rejetter vers la prouë & vers la poupe pluſieurs choſes très-peſantes, qu'on pourra ſouvent mettre ailleurs, en ſe gênant un peu. Il faut outre cela diſtribuer le leſt tout le long de la cale, & faire enſorte que chaque endroit du Navire peſe à proportion de l'eſpace qu'il occupe dans la Mer, lorſqu'on veut empêcher le Navire de s'arquer; mais ſi on mépriſe ce dernier inconvenient, comme cela eſt permis dans certaines rencontres, l'expédient que nous propoſons, doit être infaillible. Tout le poids étant raſſemblé vers le milieu de la longueur du Navire, ce poids ne ceſſera jamais d'être ſuffiſamment ſoutenu par la Mer, & les deux extrémités étant vuides, ne pourront retomber qu'avec lenteur, lorſqu'elles ſe trouveront en l'air; puiſqu'elles n'auront pas la force d'imprimer du mouvement au reſte, & de l'entraîner tout à coup en vainquant ſon inertie. Ce moyen, pour ſuſpendre les mauvais effets du tangage, n'empêchera pas de prendre toutes les meſures que nous avons indiquées contrele roulis. On peut porter le plus grand poids vers le milieu de la carène, & mettre avec la même facilité le centre de gravité plus haut ou plus bas; de même qu'éloigner ou raprocher de l'axe qui paſſe par ce point, les parties les plus peſantes de la charge.

VI.

Digitized by Google

VI.

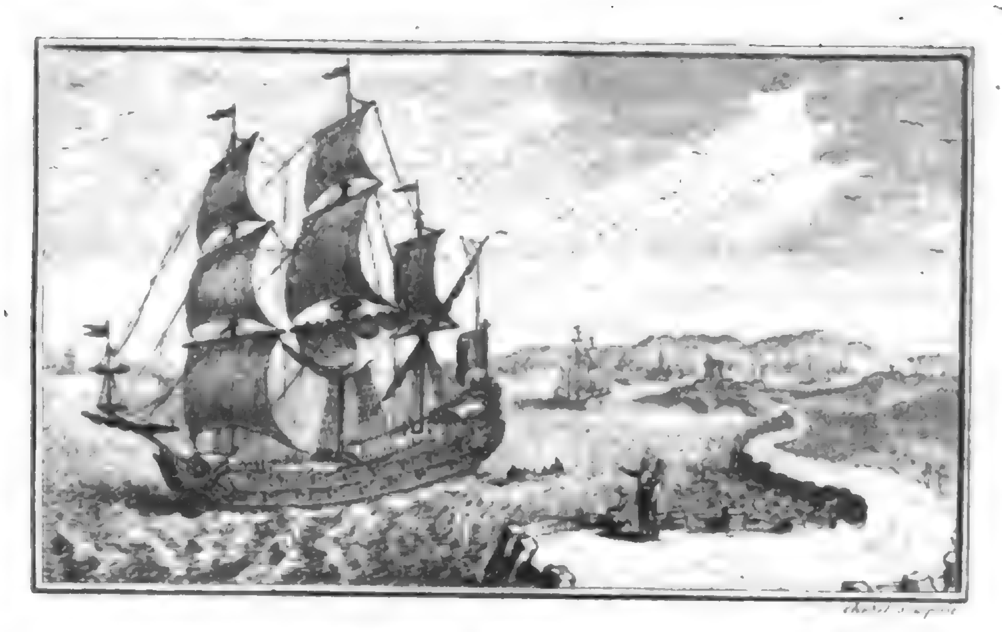
Au reſte nous ne plaignons pas les détails dans leſquels nous ſommes entrés au ſujet de la diſpoſition du centre de gravité du Vaiſſeau, & de la diſtribution de ſa charge ou de ſon leſt. Ces détails ſont de la derniere importance : le Lecteur qui nous a ſuivi dans les recherches précédentes, en conviendra ſans doute : le plus grand des intérêts, le ſalut des Marins y eſt attaché, & d'un autre côté preſque tous les ſuccès de la Navigation en dépendent. On voit tous les jours que les Conſtructeurs entreprennent de donner à deux Vaiſſeaux préciſément les mêmes gabaris, afin de les rendre également bons voiliers ; ils réuſſiſſent même à leur donner ſi exactement la même figure qu'on n'y remarque pas la moindre inégalité. Mais à peine les Vaiſſeaux ſortent-ils du Port que leur différence ſe manifeſte, & qu'on voit avec le plus grand étonnement, qu'ils ont par raport à la marche des qualités très-différentes. Nous n'avons garde d'attribuer ces varietés aux cauſes * chimeriques (nous ne pouvons pas employer d'autres termes) auſquelles on s'eſt trouvé ſouvent obligé de recourir. Mais d'où peut donc venir la différence, ſi ce n'eſt de ce que le centre de gravité, dont on ne ſe donne pas la peine d'examiner la ſituation, n'eſt pas préciſement dans le même endroit : ou ſupoſé que ce centre ſe trouve par hazard dans la même place, de ce qu'on a donné ſans s'en aper-

* On s'eſt ſouvent imaginé que la marche plus ou moins rapide dépendoit de quelques coins mis en certains endroits, d'un cordage tendu ou lache, d'un certain pavillon expoſé au vent, d'un poids très-médiocre, comme de 15 ou 20 livres ſuſpendu en quelque endroit, &c. Il n'y a preſque point de Marins, qui faute de connoitre les vraies cauſes des changemens qu'il a quelquefois aperçû, n'aſſure avoir expérimenté quelque choſe de ſemblable. Il eſt auſſi très-ordinaire dans les cas preſſans de ſcier le vibord du Navire & de délier pluſieurs pieces qui ne ſçauroient être trop jointes. Leur jeu ou leur frémiſſement devient plus grand ; & on penſe que le mouvement du Navire eſt plus rapide, parce qu'il eſt devenu plus ſenſible. C'eſt à peu près comme ſi quelqu'un s'imaginoit aller plus vite dans une Chaiſe de poſte mal ſuſpendue, parce qu'il ſe ſent plus caboté.

cevoir une autre distribution à la pesanteur par raport à ce point ? L'inclinaison étant poussée plus ou moins loin, ou les balancemens du roulis plus ou moins grands, la partie submergée de la carène n'est plus la même, & le Navire devient ensuite, pour ainsi dire, un Vaisseau tout différent, & qui n'a plus les mêmes qualités.

Fin du second Livre.

Digitized by Google



TRAITÉ DU NAVIRE, DE SA CONSTRUCTION, ET DE SES MOUVEMENS.

LIVRE TROISIÉME.

Du Vaisseau consideré en mouvement.

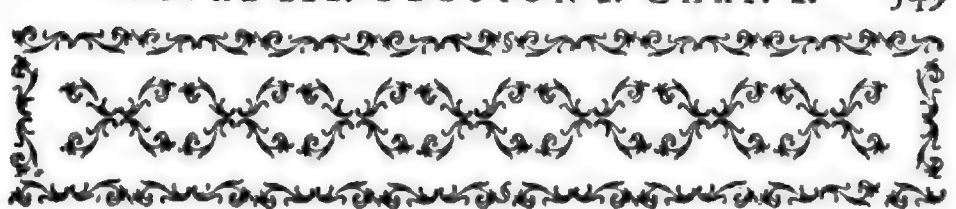
Jam vagus irrupit Pelago. *Claud.*

PRES avoir traité du Vaisseau lorsqu'il flote en repos, nous devons le considerer en mouvement, & discuter ses bonnes & ses mauvaises qualités dans cet état. Nous devons principalement examiner s'il obéïra aisément à tous les mouvemens qu'on voudra leur imprimer, s'il sera sujet à peu de dérive dans les routes

Digitized by Google

obliques, s'il singlera avec vitesse; en même tems que nous ne pouvons pas nous dispenser de distinguer toutes les circonstances dont ces qualités dépendent, les relations qu'elles ont entr'elles, les loix qu'elles suivent dans leurs changemens. On voit assez que ces matieres tiennent à beaucoup d'autres, & que le sujet est extrémement compliqué; ainsi nous décomposerons le tout par parties, afin d'avoir la liberté de passer des unes aux autres toutes les fois que nous croirons gagner quelque chose du côté de la facilité ou de la clarté.

Digitized by Google



PREMIERE SECTION.

Où l'on examine les loix que les Fluides observent dans leur choc ; le Vent en frapant les Voiles, & l'Eau en rencontrant la partie antérieure de la Carène.

CHAPITRE PREMIER.

De la maniere dont l'impulsion du Vent sur la Voile & le choc de l'Eau sur la Prouë, contribuent au sillage du Navire.

TANT qne le Vaisseau flote librement dans le Port, il n'est sujet, comme on la vû dans le Livre précédent, qu'à l'action de deux puissances, l'action de sa propre pesanteur & celle de la *poussée verticale* de l'eau. Aussitôt qu'il est sous voile & qu'il single, il y a deux autres forces à considerer, l'impulsion du vent sur les voiles & la résistance de l'eau contre la prouë. L'impulsion du vent fait avancer le Navire, le met en mouvement; & de ce mouvement naît nécessairement la résistance de l'eau ou son impulsion sur la prouë, ou sur le flanc de la carène, selon que la route est directe ou oblique. Ce sont en tout quatre forces ; & puisque nous avons déja examiné en particulier les deux premieres ; il est maintenant question de considerer principalement les deux dernieres, & de voir ce qui résulte de leur combinaison avec les deux autres.

Il faut bien distinguer le choc de l'eau sur la prouë, de la *poussée verticale*, ou de cette force avec laquelle la Mer pousse continuellement en haut. Au lieu que cette derniere ne dépend que du volume d'eau dont la carène occupe la place & ne reçoit aucun changement du plus ou du moins de rapidité du sillage, le choc que souffre la prouë doit augmenter ou diminuer, selon que la vitesse du Vaisseau est plus ou moins grande; puisque la prouë ne peut pas rencontrer l'eau avec plus de rapidité, sans en être repoussée avec plus de force. On ne doit enfin négliger l'action d'aucune des quatre puissances que nous venons de spécifier; car il est certain qu'elles sont les seules causes & du mouvement du Vaisseau & de toutes les situations qu'il prend.

Le Navire en partant du Port n'acquerre son mouvement que par dégrés infiniment petits; à peu près de la même maniere que les graves dans leur chute, ne parviennent à une certaine vitesse que par une action réiterée une infinité de fois de la part de la pesanteur. D'abord l'impulsion du vent lui imprime de trop grands dégrés de vitesse, pour que la résistance de l'eau puisse les détruire entierement. Car la vitesse du sillage étant dans les premiers instans très-petite, la résistance de l'eau qui en dépend doit être aussi très-foible; mais à mesure que le Navire se meut plus vite, il se soustrait pour ainsi dire davantage à l'action du vent; & les voiles sont frapées avec moins de force: au lieu que c'est tout le contraire de l'impulsion de l'eau contre la prouë, parce qu'elle augmente par la vélocité du Navire. Ainsi les nouveaux dégrés que l'effort de la voile ajoute au mouvement du Vaisseau, vont continuellement en diminuant, pendant que ceux que retranche la résistance de l'eau contre la prouë croissent au contraire sans cesse. Tant que les dégrés ajoutés sont plus grands que les dégrés retranchés, le sillage accelere sa vitesse: mais enfin ces divers dégrés sont-ils parvenus à l'égalité, ou l'impulsion du vent sur les voiles a-t-elle assez perdu de sa force, pour ne pas plus agir dans un sens que la résistance de l'eau con-

Digitized by Google

tre la prouë dans le sens oposé, le Navire ne doit plus augmenter sa vitesse, & doit se mouvoir d'un mouvement parfaitement uniforme. Fig. 67.

Tout cela s'accomplit en très-peu de tems, en beaucoup moins qu'il n'en faut ordinairement pour déveloper toutes les voiles & pour les disposer. Ce qui nous dispense de montrer que le Problême de l'accéleration du sillage se réduit aux Logarithmes ou dépend de la quadrature de l'hyperbole : car nous évitons avec soin toutes les discussions géométriques qui ne sont pas d'une nécessité indispensable. Le grand poids du Navire peut être cause qu'il tarde un peu à parvenir à sa plus grande vitesse, mais ce poids ne fait rien au degré même de cette vitesse ; & aussi-tôt que le Navire l'a une fois acquise, il avance ensuite par son seul mouvement propre ou intrinseque ; & il ne doit ni recevoir de nouveaux dégrés ni en perdre. Il doit se mouvoir comme s'il se mouvoit par ses propres forces dans le vuide, sans être déformais sujet ni à l'action du vent sur les voiles, ni à celle de l'eau contre la prouë. Si à chaque instant, l'impulsion de l'eau tend encore à détruire quelques petites parties de sa vitesse, l'impulsion du vent sur les voiles qui est parfaitement simultanée, tend à les reparer : de cette sorte son mouvement ne souffre aucune altération. Mais on doit remarquer que ce n'est pas assez pour cela que les efforts du vent & de l'eau, dans le sens horisontal, soient parfaitement égaux ; il faut encore qu'ils soient directement contraires, autrement ils ne suspendroient pas entierement l'effet l'un de l'autre ; les petits dégrés de vitesse communiqués par le vent, ne feroient pas exactement détruits par l'impulsion de l'eau, & le Navire perdroit de l'uniformité de son sillage.

Pour voir tout ceci plus évidemment, on n'a qu'à jetter les yeux sur la Figure 67, qui représente la coupe horisontale du Vaisseau fait à fleur d'eau; A est la proue & B est la poupe; DE la voile & VC la direction du vent qui soufle de V vers C. Il faut bien remarquer que la direction CF, selon laquelle la voile DE est poussée, n'est pas la

Fig. 67. même que la direction du vent, & qu'elle ne dépend que de la seule situation de la voile avec laquelle elle fait toujours un angle droit. Le vent ne peut agir que selon le seul sens perpendiculaire ; parce que l'autre partie de son mouvement, celle qui s'exerce dans le sens parallele à la voile ne peut faire aucune impression. Ainsi que le vent frape la voile plus ou moins perpendiculairement, il fera une impression plus ou moins grande ; de même qu'une pierre qui rencontre une muraille avec la même vitesse sous divers angles, la frape plus ou moins fort : mais l'action à laquelle la voile DE sera sujette, ne tombera toujours que sur la perpendiculaire CF & tout le reste de l'effort se trouvera perdu. Par une raison semblable, quoique le Navire se meuve selon la ligne CH ou que cette ligne CH soit sa route qui différe de la direction de la quille BA, parce que la voile le pousse de côté ; & quoique ce soit précisement le même cas que si le Vaisseau étoit en repos, & que les parties de l'eau en mouvement vinssent choquer la prouë en suivant la ligne HC & des paralleles à cette ligne, il n'est pas cependant repoussé par l'eau selon la ligne HC, mais selon une autre ligne qui dépend de la figure de la prouë & de la disposition de toutes les parties de sa surface courbe les unes par raport aux autres. Chaque partie est poussée par la rencontre de l'eau selon le sens perpendiculaire, & de tous ces efforts particuliers, il en résulte un dernier ou total, qui s'exerce sur une direction moyenne. Or comme nous l'avons dit, ce n'est pas assez que la résistance de l'eau ou son choc contre la prouë soit parfaitement égal à l'impulsion du vent sur la voile, si ces deux forces n'agissent pas sur la même ligne CF en sens directement oposés. Sans cela l'effort de la voile selon CF imprimeroit sans cesse quelque nouveau dégré CI de mouvement au Vaisseau ; & ce mouvement se joignant ou se composant avec celui CH qu'a déja le Navire selon la route CH qu'il suit, formeroit le mouvement C*h* exprimé par la diagonale du parallelogramme CH*h*I ; & le Navire embrasseroit donc continuellement une nouvelle route C*h*. Ce ne sera plus la

même

même chose, aussi-tôt que la résistance de l'eau égale à l'impulsion du vent, s'exercera sur la direction FC en sens exactement contraire ; car elle détruira sur le champ le dégré de vitesse CI communiqué par la voile, & rien ne pouvant alterer le mouvement déja acquis CH, le Vaisseau ne pourra pas manquer de suivre constamment la même route. Fig. 67.

L'angle ACH formé par la route CH qui suit le Vaisseau, & par sa quille, est nommée par les Marins *angle de la dérive*, lequel est plus ou moins grand, selon que la voile DE étant située plus ou moins obliquement par raport à la quille, pousse le Navire plus ou moins de côté. Cet angle de déviation ou de *dérive* nuit extrémement aux avantages de la navigation dans les routes obliques, mais il n'est pas possible de le détruire. Il ne se réduit à rien, ou ce qui revient au même, le Navire ne single exactement selon sa longueur, que lorsque la voile fait un angle droit avec la quille ; parce que ce n'est qu'alors que le Vaisseau n'est pas poussé de côté, ou qu'il ne l'est que dans le sens direct, quel que soit la direction du vent. Mais pour peu que la voile soit située obliquement, ou qu'on lui donne une disposition aprochante de celle que représente la Figure, le Navire en passant successivement d'une route à l'autre, n'en embrasse constamment une, que lors que la direction du choc de l'eau sur la prouë, se trouve exactement contraire à la direction CF de l'effort de la voile. Il ne doit pas suivre la direction même CF de l'effort du vent ; car on le repete, les fluides ne poussent pas les surfaces selon leur propre direction, & si le Navire suivoit FC, le choc de l'eau s'exerceroit selon quelqu'autre ligne, & ne se trouvant pas exactement oposé à l'effort de la voile, ces deux forces ne pourroient pas se détruire mutuellement. C'est sur cette oposition & sur l'égalité parfaite, qui doivent subsister entre les impulsions de l'eau & du vent, qu'est fondée toute la Théorie de la Manœuvre des Vaisseaux. Ce principe général & fécond paroît maintenant de la derniere évidence : les écrits s'étoient néanmoins multipliés

inutilemenr; & c'eſt au célébre M. Bernoulli à qui toutes les Mathématiques ſont ſi redevables, que la ſcience Nautique a encore cette obligation, d'avoir le premier découvert la vérité dans cette matiere *.

* Voyez l'Eſſai d'une nouvelle Théorie de la manœuvre des Vaiſſeaux, imprimé à Baſle en 1714.

CHAPITRE II.

De la meſure des chocs abſolus de l'Eau & du Vent.

I.

LORSQUE l'eau, ou tout autre fluide, vient rencontrer un plan, il eſt évident que chacune de ſes molécules doit faire plus ou moins d'impreſſion, ſelon qu'elle frape plus ou moins perpendiculairement. L'effort particulier doit être exprimé par le ſinus de l'angle d'incidence, ou le ſinus de l'angle que fait la direction du fluide avec la ſurface; puiſque ce ſinus repréſente la quantité de l'accès de la molécule vers le plan. Ceci ſe raporte à ce que nous avons dit d'une pierre qui rencontre obliquement un mur, & qui au lieu d'agir par ſon mouvement abſolu, n'agit que par la partie qui s'exerce dans le ſens perpendiculaire. Mais en même tems que chaque particule du fluide fait plus ou moins d'impreſſion, le nombre de ces mêmes particules qui contribuent au choc, eſt encore plus ou moins grand, ſelon que la ſurface ſe préſente plus ou moins directement; & ce nombre de particules eſt encore exprimé par le ſinus de l'angle d'incidence. Ainſi le ſinus de cet angle contribue doublement au choc: & l'impulſion doit être proportionelle à ſon quarré. Dans la Figure 70, l'angle LBA repréſente l'angle d'incidence que fait la direction LB du fluide avec la ſurface AB, & l'impulſion, ſelon ce que nous venons de voir, ſera proportionelle au quarré du ſinus de cet angle. Quoique la molécule L du fluide parcoure tout l'eſpace LB, elle n'avance vers la ſurface que de la quantité LM qui réſulte de la décompoſition du mou-

Fig. 70.

vement abſolu BL, en mouvement perpendiculaire LM à la ſurface, lequel eſt exprimé par le ſinus d'incidence, & en mouvement parallele LN, qui ne produit ici aucun effet. Mais en même tems que l'effort relatif de chaque molécule ſuit le raport du ſinus de l'angle d'incidence LBA, la multitude des mêmes molécules ſuit le même raport: car la ſurface AB n'eſt frapée que par le ſeul fluide contenu entre A & O, ou qui paſſe entre ces points; & cette largeur AO eſt encore proportionelle au ſinus de l'angle d'incidence. Lorſque cet angle ſera droit, l'impulſion ſera la plus grande de toutes: au lieu que ſi l'angle LBA n'eſt que de 30 dégrés, chaque molécule fera la moitié moins d'impreſſion, parce qu'elle n'en fera que par ſa viteſſe d'accès qui ne ſera que la moitié de ſa viteſſe abſolue; & il y aura auſſi la moitié moins de molécules qui contribueront au choc, parce que la ſurface préſentera une moindre largeur au cours du fluide. De cette ſorte l'effort total ſera quatre fois moindre. Fig. 70.

Mais ce n'eſt pas ſeulement par le plus ou le moins d'obliquité avec laquelle le fluide fait ſon choc, que ſon impulſion eſt différente; c'eſt encore par le plus ou le moins de viteſſe abſolue qu'il a indépendamment de ſon obliquité. Auſſi-tôt que le fluide ſe meut plus vite, il fait une impreſſion plus grande, & elle eſt proportionelle au quarré de ſa viteſſe; parce que le fluide ſe mouvant plus vite, chaque de ſes molécules frape avec plus de force, & qu'il y a outre cela un plus grand nombre de molécules qui ſurviennent dans le même tems & qui contribuent à l'impulſion. Si l'eau, par exemple, qui rencontre une ſurface, acquerre trois fois plus de viteſſe, chaque de ſes parties, priſes ſéparement, fera une impreſſion trois fois plus grande; mais comme il y aura encore, puiſque la viteſſe ſera trois fois plus grande, trois fois plus de parties dont l'action s'achevera dans le même tems, l'impulſion totale ſera neuf fois plus forte. C'eſt ce qui eſt commun à tous les fluides, & c'eſt par cette raiſon qu'ils deviennent quelquefois capables d'efforts prodigieux. L'eau marine, par exem-

ple, ne fait que très-peu d'effet lorſqu'elle ne parcourt qu'un pied dans une ſeconde; mais qu'elle ſe meuve dix fois plus vite, auſſi-tôt ſon impulſion augmentera cent fois: capable alors de renverſer les digues les plus épaiſſes, elle jettera ſouvent ſur ſes bords les plus grands poids, qui étoient plongés à une très-grande profondeur.

Il ſuit de ce que nous venons de dire, que lorſque le même fluide frape la même ſurface avec différentes viteſſes, & avec différentes obliquités, les impulſions ſont comme les produits des quarrés des viteſſes par les quarrés des ſinus des angles d'incidence, puiſqu'elles dépendent également de chacun de ces quarrés. Il eſt vrai que dans tout ceci nous n'avons pas égard à quelques irrégularités Phyſiques qui peuvent altérer un peu l'une & l'autre proportion. Après que les parties les plus avancées du fluide ont fait leur effet, il faudroit qu'en ſe retirant, elles laiſſaſſent agir librement les autres: au lieu qu'en ſe refléchiſſant après le choc, elles heurtent celles qui les ſuivent, & mettent obſtacle à l'action que ces dernieres doivent produire à leur tour. L'expérience apprend néanmoins que ces irregularités, qui ſont à peu près ſemblables, ou proportionelles dans tous les cas, ne tirent pas à conſéquence. Dailleurs on peut dans de pareilles matieres, négliger une préciſion trop rigoureuſe, lorſqu'il eſt queſtion de ne pas rendre les régles trop compliquées.

Si la viteſſe du fluide eſt non-ſeulement différente, de même que le ſinus de l'angle d'incidence; mais que la ſurface ſoit auſſi plus ou moins grande, l'impulſion changera encore ſelon l'étendue de cette ſurface. Ainſi les impreſſions du même fluide ſont ſenſiblement comme les produits du quarré de ſa viteſſe & du quarré du ſinus de l'angle d'incidence, multipliés par l'étendue du plan qui reçoit le choc. Je dis que les impulſions du même fluide ſuivent ſenſiblement ce raport: car outre les irregularités dont je viens de faire mention, il ſe peut faire encore que des plans de diverſes étenduës ne ſouffrent pas des impulſions proportionelles à la grandeur de leur ſurface. Peut-être que le

plan deux fois plus grand, par exemple, ne reçoit pas un choc précisement double, & cela à cause du plus ou du moins de facilité que trouvent les parties du fluide à se retirer après avoir accompli leur choc, selon que la surface est plus ou moins grande. Il n'est pas permis à tout le monde de faire des expériences sur ces matieres ; parce qu'il faudroit leur donner beaucoup d'étenduë;les faire en grand, & examiner principalement les cas extrémes.

Il arrive peut être aussi des varietés que nous ne connoissons nullement, au choc que souffrent les surfaces qui se meuvent, par exemple, dans l'eau & qui sont plongées à une grande profondeur ; & toutes ces particularités veulent être étudiées, non pas par de simples méditations, mais par des épreuves faites avec beaucoup d'adresse. Je soupçonne que c'est en partie à la difficulté qu'a l'eau de se retirer & de passer sous la carène, qu'il faut attribuer la proprieté qu'ont les Navires qui sont plus profonds, d'être toujours sujets à moins de dérive dans les routes obliques. Les Navires qui ont plus de *creux* glissent de côté sur les eaux avec de facilité ; parce que les molécules d'eau qui sont frapées, ont plus de vitesse à prendre ou plus de chemin à faire pour s'échaper; ce qui fait qu'elles résistent davantage au mouvement latéral du Vaisseau. Quoi qu'il en soit, si on admet les régles précédentes, il suffira de faire quelques essais sur le choc d'un fluide, pour se mettre en état de juger de la force de son impulsion dans tous les autres cas. On peut prendre, par exemple, pour principe d'expérience, que l'eau marine en choquant perpendiculairement une surface d'un pied quarré avec une vitesse à parcourir un pied par seconde, fait une impression égale à très-peu près à une livre sept onces. Si la vitesse est plus grande, l'impulsion augmentera en raison doublée ; si la surface est plus étenduë, l'impulsion croîtra dans le même raport que la surface ; & enfin si le choc se fait avec obliquité, l'impulsion changera comme le quarré du sinus de l'angle d'incidence.

II.

Les impulſions du vent ſont foibles en comparaiſon de celles de l'eau ; parce que l'air a peu de denſité, ou contient beaucoup moins de matiere ſous le même volume. M. Mariote a trouvé que ſa denſité étoit 576 fois moindre que celle de l'eau ; & comme toutes les autres circonſtances étant les mêmes, les impulſions des fluides doivent être proportionelles à leur denſité, puiſqu'ils n'agiſſent que par leur maſſe ou par la quantitité de matiere qu'ils contiennent, le vent avec la même viteſſe que l'eau, doit faire une impulſion 576 fois moindre. Ainſi lorſqu'il parcourt un eſpace de 50 pieds dans une ſeconde, il fait, en rencontrant perpendiculairement une ſurface d'un pied quarré, un effort d'environ 6 livres. Mais nous avons tout lieu de croire que les expériences qui ont fourni cette détermination, ont été faite en hiver, lorſque l'air étoit extrémement condenſé : car il eſt certain que ce fluide qui reçoit le plus aiſément de tous, les impreſſions de la chaleur, eſt beaucoup plus dilaté en Eté. Les impulſions qu'il fait alors par ſon choc, ſont donc plus foibles : & peut-être ſont-elles plus de 1000 fois moins fortes que celles de l'eau. On remarque ſouvent qu'un ſimple rayon du Soleil qui paſſe entre des Nuages, ſuffit pour produire un changement conſidérable à l'état de l'air, de même que l'ombre d'un ſeul nuage détaché eſt capable de cauſer un changement tout contraire. L'air privé au-deſſous de la chaleur immédiate du Soleil, ſe refroidit, & ſe condenſe tout-à-coup ; & le vent, quoiqu'avec la même viteſſe, a réellement plus de force, parce qu'il agit avec plus de maſſe. Enfin ſon impulſion varie encore, ſelon qu'il eſt plus ou moins chargé de vapeurs : indépendamment des autres cauſes de différences, celle-ci produit des effets très-ſenſibles.

Il n'y a point de doute après tout cela, que ſi on peut toujours conclure aſſez exactement la force du choc de l'eau & de preſque tous les autres fluides, auſſi-tôt qu'on

Digitized by Google

connoît leur viteſſe, ce n'eſt pas la même choſe à l'égard du vent. Les denſités de l'air ſont trop variables, & ſes variations ne ſont preſque jamais aſſez connuës. Ainſi il vaut beaucoup mieux tâcher de déterminer immédiatement la force du vent, que de s'arrêter à la déduire de la meſure de ſa viteſſe. On a déja imaginé pour cela pluſieurs inſtrumens ſous le nom d'anémometres, entre leſquels on doit diſtinguer celui que nous a donné M. Wolff dans ſes Elemens d'Aerométrie, & un autre qui indique, non-ſeulement la force du vent, mais qui en tient pour ainſi dire Regiſtre, que M. d'Ons-en-Bray a communiqué dans les Mémoires de l'Académie. M. le Marquis Poleni dans la Diſſertation qui a remporté le prix de 1733, a auſſi propoſé un de ces inſtrumens, qui eſt fort ingenieux & qu'il eſt facile de rendre exact. C'eſt un plan ſuſpendu par en haut, lequel étant expoſé au choc du vent, doit s'éloigner plus ou moins de la ſituation verticale, ſelon que l'impulſion eſt plus ou moins grande. C'eſt par la quantité de l'inclinaiſon que M. Poleni prétend juger de la force de l'impulſion. On peut employer toutes ces machines avec ſuccès; & à leur défaut on pourra ſe ſervir de celle que je vais propoſer, qui eſt très-ſimple, & que j'ai trouvé commode dans l'uſage que j'en ai fait.

Deſcription d'un Inſtrument pour meſurer la force du Vent.

Notre Anémometre n'eſt autre choſe qu'un morceau de carton très-leger apliqué à un eſpece de peſon d'Allemagne. Le morceau de carton qui eſt un quarré dont chaque côté a 6 pouces, eſt repréſenté dans la Figure 68 par le quarré ABDE, & eſt ſoutenu par la verge CF, qui entre dans le canon ou tuyau FG, & s'apuye contre un reſſort *à boudin* qui eſt dans le fond de ce canon. On expoſe le morceau de carton au choc du vent, & ſelon que l'impulſion eſt plus ou moins grande, la verge CF qui eſt ſoutenuë en F à ſon entrée dans le tuyau par un petit rouleau Fig. 68.

Digitized by Google

Fig. 68. mobile sur son axe, afin de diminuer le frotement, comprime plus ou moins le ressort à boudin ; & on a en F sur la surface de la verge, qui est divisée en parties, la quantité de l'impulsion marquée en livres & en onces, de la même maniere qu'on a avec le peson d'Allemagne le poids des choses qu'on pese. Il se trouve cette seule différence entre ces deux Instrumens ; que l'Anémometre est dans une agitation continuelle, à cause du peu d'égalité avec laquelle le vent soufle presque toujours. On observera ou la quantité moyenne de l'impulsion ou sa plus grande force, selon les diverses conséquences qu'on voudra tirer de cette connoissance. L'Anémometre dont je me suis servi étoit précisement tel que le représente la Figure ; mais on pourroit lui donner diverses autres formes. On pourroit, par exemple, le mettre sur une petite table ; le canon FG seroit porté par deux soutiens perpendiculaires, & la voile AD qui se reposeroit par sa partie inférieure AD sur la table, auroit deux petites roulettes en E & en D pour détruire le frotement.

Un des principaux avantages qu'a cet Instrument, c'est qu'il suffit de placer le morceau de carton parallelement à la surface des voiles, pour trouver l'impulsion que fait le vent sur chaque pied de surface, sans être obligé de faire attention à l'obliquité du choc. Il sera de cette sorte très-facile de sçavoir l'impulsion totale qui fait singler le Navire, & pour y mieux réussir, on peut au lieu de la feuille de carton, mettre dans un chassis un morceau de la même toile dont les voiles sont faites : on aprendra de cette sorte quand il y aura à craindre pour la rupture de la mâture, ou qu'il y aura encore quelque accident plus grand à éviter. Je ne crois pas qu'on doive jamais se hazarder à soutenir un effort de 6 livres sur chaque pied quarré. Pour que le vent fit une pareille impression, il faudroit, comme je l'ai déja dit, qu'il eût en Hyver en France une vitesse à parcourir environ 50 pieds par seconde, & une d'environ 60 ou 63 pieds en Eté, & il faudroit qu'il en eût encore une plus grande dans presque tous les endroits de la Zone-Torride.

Ce

Ce ne feroit cependant encore là que fa viteffe relative, ou celle qu'il auroit par raport au Vaiffeau & avec laquelle il l'atteindroit : au lieu que la viteffe abfoluë avec laquelle il choqueroit le Navire qui fe mettroit en *pane* ou *côté à travers*, feroit beaucoup plus grande & le rendroit capable des plus grands efforts. A Terre les hommes auroient de la peine à fe foutenir, les arbres feroient arrachés, quelques édifices feroient renverfés, &c. Fig. 68.

III.

La plus grande partie de notre Anémometre fervira auffi, lorfqu'au lieu de mefurer l'effort du vent, on voudra mefurer l'effort de l'eau. Rien n'eft plus facile dans un Port de Mer & dans un Attelier de conftruction, où on a toutes les chofes fous la main, que de faire faire une petite prouë en bois parfaitement femblable à celle d'un Navire. Or fi après l'avoir fuffifament chargée, on l'expofe à une eau courante, & qu'ayant ôté de l'Anémometre (Fig. 68.) la voile ou furface AD, on foutienne avec l'extrémité de la verge CF la petite prouë, contre le choc auquel elle fera fujette, on apprendra la valeur de l'effort en livres ou en onces. On verra auffi felon quelle direction fe fait l'impulfion, puifqu'elle fera indiquée par la fituation qu'il faudra donner à la verge CF, pour que la petite prouë fe maintienne conftamment dans le même état. Enfin fi on réitere la même expérience, en expofant au choc de l'eau une furface plane égale à la bafe du petit conoïde qui repréfente la prouë, on fçaura, avec d'autant plus de précifion, combien la faillie ou convexité de l'avant du Navire fait diminuer de fois l'impulfion qu'il reçoit, que cette connoiffance ne fe reffentira pas des erreurs que nous fommes expofés à commettre dans les fyftêmes que nous formons fur l'action des fluides.

Il eft vrai que s'il n'étoit queftion que de trouver ce dernier raport, on le découvriroit plus exactement par la Machine très-fimple, dont je vais donner la defcription, & qu'on peut nommer *balance nautique*, vû fa conftruction & fes ufages. BADC (Fig. 69.) repréfente la petite prouë Fig. 69.

Fig. 69. faite en bois & parfaitement ſemblable à celle dont on veut ſçavoir les propriétés ; & FEG eſt une planche taillée exactement de la même grandeur que la baſe BCD du conoïde qui forme la petite prouë. On appliquera l'une & l'autre à une longue régle horiſontale OP, qui pouvant tourner ſur l'axe vertical KL, ſert comme de fleau à la balance. L'axe KL ſera une verge de fer, dont le mouvement de rotation ſera facilité par la maniere dont elle ſe terminera en pivot vers ſes deux extrémités, & les deux poupées M & N qui la ſoutiennent, pourront ſe placer en quel endroit on voudra du pieux vertical HI. Les deux poupées O & P qui ſoutiennent la petite prouë d'un côté & la petite ſurface plane de l'autre, pouront auſſi gliſſer le long de la régle horiſontale ; & on les arrêtera par des vis. La Machine étant conſtruite de cette ſorte, on la plongera dans une eau courante, en préſentant la petite prouë directement au courant, & en l'enfonçant juſqu'à ce qu'elle ſoit entierement ſubmergée, de même que la ſurface EFG : & il n'y aura plus qu'à changer leur diſtance à l'axe KL, juſqu'à ce que les deux impulſions ſoient en équilibre ; pour ſçavoir par la longueur des deux bras de levier auſquels elles ſeront appliquées, le raport qu'il y a entre les deux forces. Je n'ai que faire d'avertir que les deux impulſions ſeront en raiſon inverſe des longueurs des deux bras de levier. Le même Inſtrument ſervira auſſi, ſi on le veut, à comparer deux prouës immédiatement l'une à l'autre ; en apliquant à la balance deux petites prouës qui leur ſoient ſemblables : & on pourra, ſi on le veut, pour plus de commodité, expoſer la machine au vent, au lieu de l'expoſer au choc de l'eau. Au reſte, quoique ce moyen mécanique de juger de l'impulſion que ſouffrent les ſurfaces, puiſſe ſervir dans pluſieurs rencontres, il eſt cependant à propos d'en avoir d'autres, qu'on puiſſe employer ſans avoir recours à l'expérience. La méthode générale eſt de réduire les impulſions que ſouffrent les ſurfaces courbes, à celles que ſouffrent les ſurfaces planes : il faudra pour cela diviſer les ſurfaces courbes en parties aſſez petites, pour faire diſparoître leur courbure.

CHAPITRE III.

De l'impulsion des Fluides sur différentes figures, & premierement sur une Prouë formée de deux lignes droites.

I.

NOUS commençons ce nouvel examen par le cas le plus simple de tous : nous suposerons que la prouë BAD, (Fig. 70.) est formée de deux lignes droites AB, AD, que l'eau rencontre selon une infinité de paralleles à l'axe AC. L'angle d'incidence sera égal à l'angle BAC, ou à la moitié de l'angle BAD ; & si on multiplie chaque côté AB ou AD par le quarré du sinus de cet angle, qu'il est toujours aussi facile d'exprimer par lignes que par nombres, on aura l'impulsion absoluë totale : impulsion qui s'exerce selon la perpendiculaire EF à chaque côté. Je supose que cette impulsion sur AB, est représentée par l'espace même EF ; & je forme le rectangle EGFH, dont les côtés EG & FH sont paralleles à l'axe AC, & les autres côtés perpendiculaires. Il est clair que EG ou HF représentera en même tems la partie de l'impulsion qui s'exerce dans le sens parallele à l'axe ; & il n'est pas moins évident que cette partie est plus petite que l'impulsion absoluë dans le même raport que BC est plus petite que AB ; puisqu'à cause des triangles semblables ABC & FEG, il y a même raport de BC à AB, que de EG à EF. Ainsi si au lieu de chercher les impulsions absoluës sur les côtés AB & AD, lesquelles se détruisent en parties, parce qu'elles sont en parties contraires, on ne veut avoir que les impulsions relatives directes, qui s'exerçant dans le sens exactement parallele à l'axe, s'aident mutuellement, il ne faut pas multiplier le quarré du sinus d'incidence par la longueur de chaque côté AB ou AD ; car on auroit les im- Fig. 70.

Fig. 70. pulsions absoluës : mais il faut multiplier ce quarré seulement par CB ou par CD. On aura de cette sorte les deux impulsions relatives directes ; & il n'y a donc qu'à multiplier le quarré du sinus d'incidence par toute la base BD, pour avoir l'impulsion relative directe sur toute la prouë.

Si l'angle en A formé par les deux côtés de la prouë, est de 60 degrez, l'angle d'incidence sera de 30, & son sinus étant la moitié du sinus total, le quarré de ce sinus sera quatre fois plus petit ; d'où il suit que l'impulsion directe que recevra la prouë, sera alors le quart de celle que recevroit la base BD, si elle étoit choquée par le fluide ; car cette derniere impulsion seroit exprimée par le quarré même du sinus total, multiplié par BD. On voit de la même maniere que lorsque l'angle en A est droit, l'impulsion directe est la moitié de ce qu'elle seroit, si le fluide pouvoit fraper la base BD ; puisque l'angle d'incidence est de 45 degrés, & que le quarré de son sinus est la moitié du quarré du sinus total.

I.

De l'impulsion de l'eau sur une prouë formée par un demi-cercle.

Fig. 71. Prenons pour second exemple un demi-cercle BAD, (Fig. 71.) choqué par un fluide qui vient rencontrer sa convexité, selon des directions perpendiculaires au diametre BD, ou paralleles au rayon AC. Si on conçoit la circonference de ce cercle partagée en une infinité de parties infiniment petites E*e*, & qu'on abaisse des points E & *e* des perpendiculaires EG & *eg* sur le diametre BD, ces perpendiculaires seront paralleles à la direction du fluide, & on pourra les prendre pour les sinus des angles d'incidence, puisque ces lignes seront les sinus des angles BCE, qui sont égaux à ceux E*e*F que fait la direction du fluide avec les petites parties E*e* de la circonference actuellement choquée. Ainsi pour avoir, conformément aux principes établis ci-devant, l'impulsion sur la petite partie E*e*, il n'y a qu'à multiplier cette petite partie par le quarré de EG.

Il eſt vrai qu'on aura de cette ſorte l'impulſion abſoluë; c'eſt-à-dire celle qui agit ſelon le rayon EC, ou ſelon la perpendiculaire à la partie même, au lieu que nous voulons avoir la ſeule impulſion relative ſelon EG ou ſelon la détermination de l'axe, laquelle doit être plus petite que l'abſoluë, dans le même raport que EG, eſt plus petite que EC, ou que EF eſt plus petite que E*e*. Ainſi au lieu de multiplier le quarré du ſinus EG d'incidence par E*e*, nous n'avons qu'à le multiplier par EF, ou par G*g*. Or c'eſt la même choſe de toutes les autres parties de la circonference; & pour avoir par conſéquent l'impulſion directe que ſouffre la demi-circonference entiere, il ſuffit de chercher la ſomme de tous les produits des quarrés des ſinus EG par les parties correſpondantes G*g*. Fig. 71. & 72.

La Géométrie fournit divers moyens pour trouver la ſomme de ces produits; mais il me ſemble que voici le plus ſimple. On formera une pyramide triangulaire HBDI, (Fig. 72.) dont la hauteur BI ſera égale au diametre BD du demi-cercle qui eſt ſujet à l'impulſion, & dont la baſe ſera un triangle BDH, qui a un angle droit formé des deux côtés BD & DH qui ſeront égaux au même diametre. On fera les parties BG & B*g* égales à BG & à B*g* de la figure 71, & on imaginera des plans NOPG, *nopg* perpendiculaires à la baſe & paralleles à DH, qui partageront la pyramide en une infinité de tranches infiniment peu épaiſſes. Il eſt évident que chaque de ces tranches exprimera l'impulſion relative directe que ſouffrira chaque partie E*e* de la demi-circonference. Car GP étant égale à BG, de même que GN eſt égale à GD, le rectangle NGPO ſera égal au rectangle de BG par GD qui eſt égal, par la proprieté du cercle, au quarré de GE; & il ſuit delà que la tranche infiniment peu épaiſſe NGPO*ongp*, eſt égale au produit du quarré de GE par G*g*, & exprime par conſéquent l'impulſion relative directe ſur E*e*. Mais puiſque c'eſt la même choſe de toutes les autres tranches; qu'elles ſont continuellement proportionelles aux petites impulſions directes; il ſuffit de chercher la ſolidi-

Fig. 71. té entiere de la pyramide, qui a pour élemens toutes les tranches, ou de chercher la solidité de ses parties sensibles BGOI ou NGCMO, (ce qui sera toujours facile) pour avoir l'impulsion relative directe, ou sur toute la demi-circonference BAD, ou sur quelqu'une de ses parties BE ou EA.

La solidité de la pyramide entiere est égale aux $\frac{4}{3}$ du cube du sinus total ou du rayon CB. Car la base BDH est double du quarré du sinus total, ou égale à $2 \times \overline{BC}^2$; & il faut multiplier cette base par le tiers de BI ou par les deux tiers BC; ce qui donne pour la pyramide entiere $\frac{4}{3} \times \overline{BC}^3$. Cette solidité exprime l'impulsion que souffre toute la demi-circonference selon le sens direct: Mais si le fluide agissoit sur le diametre même BD & perpendiculairement, l'impulsion seroit égale au quarré $\overline{BC}^2$ du sinus total, multiplié par le diametre même, ou par le double de BC; de sorte qu'elle seroit exprimée par le double du cube du sinus total, ou par $\frac{6}{3} \times \overline{BC}^3$. Ainsi il est sensible que l'impulsion que reçoit la demi-circonference BAD, est à celle que recevroit le diametre BD, s'il étoit choqué perpendiculairement par le fluide, comme 4 est à 6, ou que l'une est les deux tiers de l'autre: ce qui nous apprend que la courbure ou la saillie du demi-cercle qui est cause que chaque partie est frapée avec moins de force, fait diminuer l'impulsion précisément d'un tiers.

Nous avons vû que lorsque la prouë est formée de deux lignes droites qui font en A un triangle droit, l'impulsion directe est diminuée de moitié. Cette prouë rectiligne éprouve donc moins de résistance de la part de l'eau que la prouë formée d'un demi-cercle : Les deux résistances sont dans le raport de 3 à 4; la premiere est d'un quart plus petite que l'autre. Mais nous démontrerons aussi que de toutes les prouës terminées par un simple trait, c'est la prouë rectiligne, qui ayant la même largeur BD, & la même saillie CA, est exposée à la moindre résistance

Digitized by Google

poſſible de la part du milieu dans lequel elle ſe meut. Si on cherche de la même maniere l'impulſion dans le ſens relatif direct que reçoit un arc de cercle BE de 60 degrés, on trouvera qu'elle eſt les $\frac{5}{12}$ de celle que recevroit dans le même ſens la baſe BG, ſi elle étoit expoſée au choc : Au lieu que l'impulſion que recevroit la corde de l'arc ſeroit ſeulement le quart ou les $\frac{3}{12}$ de celle que recevroit la baſe BG, & ſeroit donc les $\frac{3}{5}$ de celle que ſouffre l'arc.

III.

De l'impulſion que reçoit une parabole.

Supoſons maintenant que la prouë, au lieu d'être terminée par un arc de cercle, le ſoit par une parabole BAD, (Fig. 73.) dont AE eſt l'axe, & que le fluide, ſelon une infinité de lignes GB, *gb*, vienne la rencontrer parallelement à cet axe. L'angle d'incidence GB*b* ſur une partie infiniment petite B*b*, ſera égal à l'angle FBE formé par l'ordonnée BE, & par la perpendiculaire BF à la courbe. Comme la ſouperpendiculaire EF eſt conſtante à cauſe de la proprieté de la parabole, qu'elle eſt égale à la moitié du parametre, nous la deſtinons à ſervir de ſinus total ; & c'eſt donc par raport à cette ligne que nous travaillerons à exprimer le ſinus d'incidence & ſon quarré. Je tranſporte pour cela FE en AC ; je trace du point C comme centre, l'arc de cercle AMO, & tirant du même point les lignes CG & C*g* juſqu'aux points G & *g*, où les paralleles BG & *bg* à l'axe rencontrent la tangente AG tirée au ſommet de la parabole, nous aurons le triangle CAG égal au triangle FEB ; & par conſéquent l'angle CGA ſera égal à l'angle d'incidence du fluide ſur la petite partie B*b* de la parabole. Du point A j'abaiſſe enſuite la perpendiculaire AH ſur CG ; & l'angle CAH étant encore égal à l'angle d'incidence, nous aurons CH pour ſon ſinus, pendant que AC qui eſt égale au demi-parametre, repréſentera le ſinus total. Cela ſupoſé, nous n'avons plus qu'à abaiſſer du point

Fig. 73. H la perpendiculaire HI sur AC, & la partie interceptée CI représentera le quarré du sinus d'incidence. Car on aura la proportion continuë || AC | HC | CI, qui nous apprend que CI est égale au quarré de HC divisé par AC; & puisque AC est constante, le segment CI sera continuellement proportionel au quarré de HC, ou au quarré du sinus de l'angle d'incidence.

Il nous faudroit maintenant multiplier CI par la petite partie B*b* de la parabole, si nous voulions obtenir l'impulsion absoluë qu'elle reçoit, & qui s'exerce selon la perpendiculaire BF; mais voulant avoir la seule partie de l'impulsion qui agit dans le sens parallele à l'axe, il nous faut simplement multiplier CI par BI, ou par son égal G*g*. Je prend pour l'unité la constante CA, qui nous a déja servi de sinus total, & considerant que CA | G*g* || CI | KH, je reconnois que KH peut représenter le petit produit que nous cherchons, & qui exprime la petite impulsion relative directe sur B*b*. Car KH est égale à $\frac{CI \times Gg}{CA}$, & est donc toujours proportionelle à CI×G*g*. Enfin le petit triangle HLK étant semblable au grand CHA, il ne reste plus qu'à remarquer que KH est plus grande que HL dans le même raport que CA est plus grande que CH; mais que le petit arc M*m* du cercle AM, intercepté entre les lignes CG & C*g*, est aussi plus grand que HL précisément dans le même raport; puisque l'un est à l'autre comme AC ou MC est à HC: ainsi le petit arc M*m* est égal à HK, & exprime donc aussi l'impulsion directe du fluide sur la petite partie B*b* de la parabole. Or comme le même raisonnement peut s'appliquer à toutes les autres petites parties, il s'ensuit que l'impulsion relative dans le sens de l'axe, sur tout l'arc de parabole AB, est exprimée par la longueur entiere de l'arc de cercle AM.

Cette expression est générale & peut s'appliquer à tous les arcs de parabole. Si cette ligne courbe ne faisant que naître, nous considérons le petit arc qui part du sommet & qui ne differe pas de son ordonnée, nous aurons pour l'expression

Digitized by Google

pression de l'impulsion qu'il reçoit, le petit arc de cercle qui partant aussi du point A, ne differe pas de sa tangente & qui est de même longueur que le petit arc de parabole ou que son ordonnée. C'est-à-dire, que l'impulsion que souffrent les petites parties qui sont exposées perpendiculairement au choc, est représentée par leur longueur: & de là il suit que pendant que les arcs de cercle, comme AM, expriment les impulsions que reçoivent les arcs entiers AB de parabole, les impulsions que souffriroient les ordonnées EB, si le fluide pouvoit parvenir jusqu'à les fraper, seroient exprimées par la propre longueur de ces ordonnées ou par les tangentes AG qui leur sont égales. Ces dernieres impulsions augmenteroient à l'infini à mesure qu'on prolongeroit la parabole; au lieu que la ligne courbe a cette proprieté singuliere, que l'impulsion qu'elle reçoit a un terme auquel elle ne parvient jamais: il faudroit étendre à l'infini chaque de ses branches, pour que l'impulsion sur chaque côté fût exprimée par l'arc AO qui est le quart du cercle. Si on fait passer par le foyer une ordonnée BD, la partie de la parabole retranchée vers le sommet recevra seule autant d'impulsion que tout le reste. En effet, l'impulsion pour chaque moitié sera représentée par l'arc AM qui est de 45 dégrés; l'ordonnée BE étant dans ce cas égale à la moitié du parametre, & le triangle CAG étant isocelle. Fig. 73.

CHAPITRE IV.

Méthode générale de trouver les impulsions des fluides sur les lignes courbes, avec quelques remarques sur ces impulsions.

ON peut découvrir avec le même succès, en employant la seule Analyse des Géométres, l'impulsion des fluides sur plusieurs autres lignes courbes: mais il n'est que trop

souvent nécessaire pour réussir dans ces sortes de recherches, d'avoir recours au calcul algébrique. C'est aussi par ce seul moyen qu'on peut parvenir à des vûës plus étenduës ou plus universelles. Nous croyons donc qu'au lieu de continuer plus long-tems un examen qui ne seroit toujours que particulier, il vaut mieux nous hâter de nous élever à la considération générale de toutes les lignes courbes frapées par les fluides.

I.

De l'impulsion dans le sens de l'axe.

Fig. 74. Soit BAD (Fig. 74.) une ligne courbe dont AC est l'axe & dont les deux branches AB & AD sont parfaitement égales. Je nomme x les parties variables AC ou AH de l'axe & y les ordonnées correspondantes BC ou EH ; pendant que dx exprimera les parties infiniment petites Hh de l'axe & dy les différentielles EF des ordonnées. Je supose de plus, pour n'être pas obligé d'y revenir une seconde fois, que le fluide se meut selon des lignes obliques LeI, LeI qui font avec l'axe de la courbe ou avec les paralleles eF à l'axe des angles FeI, dont m est la tangente & $\sqrt{n^2+m^2}$ la sécante, pendant que n désigne le sinus total. Ces angles FeI représente l'obliquité de la route ou la quantité de la dérive, supposé que la courbe BAD soit la prouë d'un Navire projetté sur un plan horisontal & que A soit son extrémité. L'angle d'incidence est ici EeI, lequel est plus grand d'un côté & plus petit de l'autre ; plus grand sur la moitié de la courbe que le fluide frape plus directement. Du point I j'abaisse la perpendiculaire IK sur la partie Ee ; & cette perpendiculaire représentera le sinus de l'angle d'incidence, comparée à eI prise pour sinus total. Il est très-facile de trouver l'expression de cette ligne IK : je cherche pour cela FI par cette analogie ; le sinus total n est à la tangente m de l'angle FeI, comme eF $= dx$ est à FI $= \frac{mdx}{n}$ que j'ajoute à EF $= dy$, ou que j'ôte de cette petite ligne,

pour avoir $dy \pm \frac{mdx}{n}$ pour la valeur de EI. Je cherche eI Fig. 74.
par cette analogie ; le ſinus total n eſt à la ſécante $\sqrt{n^2 + m^2}$ de l'angle FeI, comme eF $= dx$ eſt à eI $= \frac{dx\sqrt{n^2+m^2}}{n}$. Conſiderant enſuite que les petits triangles EKI & EFe ſont ſemblables, je fais cette autre proportion, Ee $= \sqrt{dx^2 + dy^2}$ | Fe $= dx$ || EI $= dy \pm \frac{m}{n} dx$ | KI $= \frac{dxdy \pm \frac{m}{n} dx^2}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$. Enfin, nous n'avons qu'à faire cette derniere analogie que nous fournit le triangle eIK, l'hypoténuſe eI $= \frac{dx\sqrt{n^2+m^2}}{n}$ eſt au ſinus total n, comme IK $= \frac{dxdy \pm \frac{m}{n} dx^2}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ eſt à $\frac{n^2dy \pm nmdx}{\sqrt{n^2+m^2}\sqrt{dx^2+dy^2}}$, & nous aurons l'expreſſion du ſinus de l'angle d'incidence IeK. Cette expreſſion en contient réellement deux ; la premiere $\frac{n^2dy + nmdx}{\sqrt{n^2+m^2}\sqrt{dx^2+dy^2}}$ convient à la moitié AB de la courbe, & la ſeconde $\frac{n^2dy - nmdx}{\sqrt{n^2+m^2}\sqrt{dx^2+dy^2}}$ à l'autre moitié.

Si on vouloit avoir l'impulſion abſoluë ſur la petite partie Ee, il n'y auroit qu'à multiplier le quarré $\frac{n^4dy^2 \pm 2n^3mdxdy + n^2m^2dx^2}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$ de ce ſinus par la partie même Ee $= \sqrt{dx^2 + dy^2}$. Mais comme toutes ces impulſions abſoluës auroient des directions obliques les unes par raport aux autres, on ne pourroit pas ſçavoir enſuite leur effet total ou commun par une ſimple addition ; au lieu que ce ne ſera pas la même choſe, ſi décompoſant chaque impulſion abſolue, on cherche l'impulſion relative dans le ſens préciſément parallele à l'axe AC. Il eſt d'ailleurs toujours permis de conſiderer la petite partie Ee de la courbe, comme ſi elle étoit une petite portion des côtés rectilignes AB ou AD de la prouë BAD de la figure 70 ; ainſi on peut exécuter ici ce qu'on a déja exécuté

Fig. 74. dans le Chapitre précédent. Le quarré du ſinus de l'angle d'incidence, multiplié par Ee, nous donneroit la petite impulſion abſoluë, & ce même quarré multiplié par EF nous donnera l'impulſion ralative dans la détermination de l'axe; parce que cette derniere impulſion eſt plus petite que l'autre, dans le même raport que EF eſt moindre que Ee. La regle eſt générale: ſi on vouloit avoir l'impulſion relative que ſouffre Ee dans le ſens latéral perpendiculaire à l'axe AC, il faudroit multiplier le quarré du ſinus d'incidence par eF qui eſt la partie Ee projettée ſur un plan ou ſur une ligne perpendiculaire à la direction, ſelon laquelle on veut avoir l'impulſion relative. Enfin ſi nous multiplions $\frac{n^4dy^2 \pm 2n^3mdxdy + m^2n^2dx^2}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$ par EF $= dy$, nous aurons $\frac{n^4dy^3 \pm 2n^3mdxdy^2 + m^2n^2dx^2dy}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$, pour l'impulſion relarequiſe dans la détermination de l'axe; & puiſque l'impulſion relative directe ſur toute la courbe eſt formée de toutes ces petites impulſions, nous n'avons qu'à en prendre la ſomme infinie ou l'intégrale

$\int \frac{n^4dy^3 \pm 2n^3mdxdy^2 + n^2m^2dx^2dy}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$, & nous aurons l'impulſion relative directe ſur chaque moitié de la courbe; ſur la moitié AB, lorſque nous employerons le ſigne + qui eſt au ſecond terme, & ſur l'autre moitié, lorſque nous nous ſervirons du ſigne —.

Au lieu de chercher l'impulſion ſur chaque moitié de la courbe ſéparement, on peut la chercher auſſi ſur la courbe entiere, en ajoutant enſemble les deux impulſions particulieres $\int \frac{n^4dy^3 + 2n^3mdxdy^2 + n^2m^2dx^2dy}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy}}$ & . . . .

$\int \frac{n^4dy^3 - 2n^3mdxdy^2 + n^2m^2dx^2dy}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$: il viendra . . . .

$\int \frac{2n^4dy^3 + 2n^2m^2dx^2dy}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx+dy^2}}$ qui exprime donc l'impulſion relative directe totale.

Digitized by Google

Cette derniere formule se réduit à $\int \frac{2n^2 dy^3}{dx^2 + dy^2}$, lors que le fluide se meut parallelement à l'axe, ou que l'obliquité de la route est nulle ; parce qu'alors la tangente devenuë égale à zero, fait disparoître les termes qu'elle multiplie. Il semble d'abord que l'entiere solution du Problême est plus difficile dans les autres cas ; mais elle ne l'est pas réellement : car toutes les fois qu'on peut avoir l'intégrale exacte de $\int \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2}$, on peut l'obtenir également de $\int \frac{2n^4 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx^2 + dy^2}}$. Cela vient de ce qu'on peut trouver une certaine grandeur, qui ajoutée au premier terme de la quantité $\int \frac{2n^4 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx^2 + dy^2}}$ ne le rend pas plus difficile à intégrer, & qui soustraite en même tems du second terme ; afin de conserver à la quantité totale la même valeur, rend toujours infailliblement ce second terme intégrable. Cette grandeur qu'on doit ajouter à un terme & soustraire de l'autre, est $\frac{2n^2 m^2 dy^3}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx^2 + dy^2}}$ de sorte que nous aurons pour la quantité élementaire totale . . . $\frac{2n^4 dy^3 - 2n^2 m^2 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy + 2n^2 m^2 dy^3}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx^2 + dy^2}}$ ou $\frac{2n^4 - 2n^2 m^2}{n^2 + m^2} \times \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2} + \frac{2n^2 m^2}{n^2 + m^2} \times \frac{dx^2 dy + dy^3}{dx^2 + dy^2}$ qui se réduit à . . . $\frac{2n^4 - 2m^2 n^2}{n^2 + m^2} \times \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2} + \frac{2n^2 m^2}{n^2 + m^2} dy$, dont l'intégrale est effectivement $\frac{2n^4 - 2n^2 m^2}{n^2 + m^2} \int \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2} + \frac{2n^2 m^2}{n^2 + m^2} y$.

Ainsi que le fluide se meuve parallelement à l'axe de la courbe, ou qu'il suive quelqu'autre direction, il n'y a pas sensiblement plus de difficulté à trouver l'impulsion relative directe dans un cas que dans l'autre : il n'y a toujours que la seule quantité $\frac{dy^3}{dx^2 + dy^2}$ à intégrer. Si cette intégration étant achevée, nous désignons par A, la quantité

Fig. 74.

Fig. 74. $2n^2\int\frac{dy^3}{dx^2+dy^2}$, ou l'impulsion que souffre la courbe entiere lorsque le fluide la choque parallelement à son axe, nous aurons aussi-tôt en termes parfaitement connus, l'impulsion $\frac{n^2-m^2}{n^2+m^2}A+\frac{2n^2m^2}{n^2+m^2}y$ que souffre la même courbe, lorsque le fluide se meut selon toute autre direction.

Mais notre formule $\frac{n^2-m^2}{n^2+m^2}A+\frac{2n^2m^2}{n^2+m^2}y$, ou son équivalente $\int\frac{2n^2dy^3+2n^2m^2dx^2dy}{n^2+m^2\times dx^2+dy^2}$ devient encore beaucoup plus simple & acquerre même une simplicité capable de causer quelque sorte de surprise, lorsque l'obliquité de la route est exactement de 45 dégrés, ou lorsque la direction du fluide fait précisement un angle demi-droit avec l'axe de la courbe. La tangente m se trouve égale au sinus total n, & la formule $\frac{n^2-m^2}{n^2+m^2}A+\frac{2n^2m^2}{n^2+m^2}y$ se réduit à n^2y, pendant que l'autre formule $\int\frac{2n^4dy^3+2n^2m^2dx^2dy}{n^2+m^2\times dx^2+dy^2}$ qui se change en $\int\frac{2n^4dy^3+2n^4dx^2dy}{2n^2\times dx^2+dy^2}$ & en $\int n^2dy$, se réduit à la même quantité.

On voit donc dans cette circonstance particuliere, que l'impulsion relative directe ne dépend ni de la nature de la courbe qui la reçoit, ni de sa saillie ou de la longueur de son axe AC, mais seulement de sa largeur BD ou de sa plus grande ordonnée. Que la courbe BAD soit un arc de cercle ou une parabole ou une hyperbole, qu'elle soit géométrique ou mécanique, &c. que son axe soit plus ou moins long; aussi-tôt qu'elle n'a que la même largeur BD, l'impulsion qu'elle reçoit dans le sens de son axe par un fluide qui vient la rencontrer avec une obliquité de 45 degrés, est toujours exactement la même, & est égale à la moitié du quarré du sinus total, multipliée par la largeur BD; c'est-à-dire, qu'elle est réduite à la moitié de celle que recevroit la largeur BD frapée perpendiculairement.

Digitized by Google

Cette impulsion est aussi la même que celle que recevroit la ligne droite BD frapée avec une obliquité de 45 degrés, puisque cette droite peut être considerée comme une courbe BAD dont l'axe AC est infiniment petit. J'avois déja indiqué * cette proprieté singuliere de toutes les courbes dont les deux moitiés sont parfaitement égales de part & d'autre de leur axe ; mais je ne l'avois pas démontrée. Je m'étois contenté de faire voir une proprieté correspondante dans les conoïdes, & de dire qu'il y avoit quelque chose de semblable dans toutes les autres figures.

Fig. 74.

* Traité de la Mâture des Vaisseaux page 157.

Au reste, ce que l'Algébre vient de nous indiquer, & ce qu'on ne se seroit peut-être pas avisé de chercher, si le calcul Analytique ne l'avoit fourni, se peut voir maintenant, avec la derniere évidence, par les seules lumieres de la Géométrie la plus commune. Lorsque le fluide suit une direction qui fait un angle demi-droit avec l'axe AC, il fait beaucoup plus d'impression sur un côté de la courbe que sur l'autre : mais si on examine l'impulsion que reçoivent deux petites parties correspondantes ou également situées de part & d'autre de l'axe, on verra qu'il se fait une espece de compensation, & qu'autant que le quarré d'un des sinus d'incidence est plus grand que la moitié du quarré du sinus total, le quarré de l'autre sinus d'incidence est plus petit. C'est donc précisément la même chose que si ces deux petites parties étoient frapées avec une incidence dont le quarré fût égal à la moitié du quarré du sinus total : & cela est vrai quelque soit la situation des deux petites parties; pourvû qu'elles soient également situées par raport à l'axe d'un côté que de l'autre. Tel est le dénouement du paradoxe que nous ne croyons pas devoir expliquer plus au long. Il ne nous reste plus qu'à dire un mot de l'impulsion relative latérale.

Digitized by Google

Fig. 74.

II.

De l'impulsion dans le sens latéral, ou dans le sens perpendiculaire à l'axe.

Il faut, conformement à ce que nous avons vû ci-devant, multiplier le quarré $\frac{n^4 dy^2 \pm 2n^3 mdxdy + n^2 m^2 dx^2}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$ du sinus de l'angle d'incidence E*e*I par *e*F $= dx$; & nous aurons $\frac{n^4 dy^2 dx \pm 2n^3 mdx^2 dy + n^2 m^2 dx^3}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$ pour l'impulsion relative latérale que reçoit chaque petite partie E*e*. Si on prend ensuite l'intégrale $\int \frac{n^4 dy^2 dx \pm 2n^3 mdx^2 dy + n^2 m^2 dx^3}{\overline{n_2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$, on aura l'impulsion latérale sur chaque moitié entiere de la courbe; sur la moitié AB, ou sur la moitié AD, selon qu'on employera le signe + ou le signe —. Mais comme ces deux différentes impulsions latérales sont oposées, il ne faut pas les ajouter ensemble; il faut au contraire soustraire la plus foible de la plus forte, pour avoir l'impulsion latérale qui prévaut ou que reçoit la courbe entiere. Il vient $\int \frac{4n^3 mdx^2 dy}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$ ou $\frac{4n^3 m}{n^2+m^2} \int \frac{dx^2 dy}{dx^2+dy^2}$, qui convient, de même que les formules précédentes, à toutes les courbes, dont les deux branches de part & d'autre de l'axe, sont parfaitement égales.

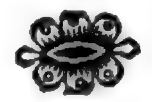
On peut remarquer que comme cette derniere formule a beaucoup de raport au second terme de l'impulsion relative directe sur toute la courbe, on peut l'integrer par le même moyen. On ne changera point la valeur de la quantité élementaire, en lui ajoutant $\frac{4n^3 m}{n^2+m^2} \times \frac{dy^3}{dx^2+dy^2}$ aussitôt qu'on en soustraira cette même grandeur sur le champ. C'est-à-dire, qu'au lieu d'opérer sur $\frac{4n^3 m}{n^2+m^2} \times \frac{dx^2 dy}{dx^2+dy^2}$, ou

on peut la faire également, fur $\frac{4n^3mdx^2dy + 4n^3mdy^3}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$ —— Fig 74.

— $\frac{4n^3mdy^3}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$. Or cette derniere expreffion fe reduit à $\frac{4n^3mdy}{n^2+m^2} - \frac{4n^3mdy^3}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$, & fon intégrale eft $\frac{4n^3m}{n^2+m^2}y - \frac{4n^3m}{n^2+m^2}\int\frac{dy^3}{dx^2+dy^2}$ ou $\frac{4n^3m}{n^2+m^2}\ y - \frac{2nm}{n^2+m^2}$ A, fi on met A, comme ci-devant, à la place de $2n^2\int\frac{dy^3}{dx^2+dy^2}$ qui indique l'impulfion relative directe, lorfque le mouvement fe fait exactement felon l'axe.

III

Ainfi on voit encore une fois que toute la difficulté qu'il y a dans ces fortes de difcuffions, ne confifte qu'à trouver l'impulfion relative directe A, pour le feul cas où le fluide fe meut felon l'axe de la courbe. Cette impulfion étant trouvée, il n'importe de quelle maniere, on aura toujours $\frac{n^2-m^2}{n^2+m^2}$A $+ \frac{2n^2m^2}{n^2+m^2}y$ pour les impulfions relatives directes pour tous les autres cas, & on aura en même tems $\frac{4n^3my - 2nmA}{n^2+m^2}$ pour l'impulfion relative latérale; il fuffit de fe reffouvenir que y défigne la moitié de la plus grande largeur, ou la moitié de l'ordonnée entiere BD de la courbe, & que m marque la tangente de l'obliquité de la direction du fluide, pendant que n défigne le finus total. Supofé qu'on eût trouvé l'impulfion A par l'expérience, il n'y auroit qu'à chercher par le même moyen l'impulfion que recevroit la demi-largeur BC expofée directement au choc, & l'introduire à la place de y.



CHAPITRE V.

De l'impulsion des fluides sur les surfaces courbes.

ON peut examiner à peu près de la même maniere les surfaces courbes, par raport à l'impulsion qu'elles reçoivent; quoique la discussion en doive être ordinairement plus compliquée, à cause de l'attention expresse qu'il faut avoir à la double courbure dont elles sont capables. Je me contenterai de chercher les impulsions que souffrent deux differentes figures; l'une à cause de son extréme simplicité; l'autre à cause de l'application extrémement étenduë qu'on en peut faire.

I.

De l'impulsion que souffre une prouë conique.

Fig. 25. 1°. Suposons d'abord que la prouë DBLF (Fig. 25.) est un cône droit, ou pour parler plus exactement, est un demi-cône, dont BE est l'axe, & le demi-cercle DFL la base. Il est évident, vû la régularité de cette figure, que toutes les parties en seront frapées précisément avec la même obliquité, ou avec la même incidence, aussitôt que le mouvement de la prouë, ou le mouvement de l'eau qui viendra la rencontrer, se fera parallement à l'axe BE. Ainsi le quarré du sinus de l'angle d'incidence étant le même pour toutes les parties de la surface, il faudroit le multiplier par l'étendue de toutes ces parties, si on vouloit avoir la somme des impulsions absolues, qui s'exercent selon une infinité de différentes perpendiculaires à la surface. Mais puisque nous ne voulons obtenir que l'impulsion relative horisontale directe, ou l'impulsion particuliere qui s'exerce dans la détermination parallele à l'axe BE, il faut chercher la projection de chaque partie de la surface conique dans le plan de la base DFL, qui est perpendiculaire à la

direction dont il s'agit, & multiplier le quarré du sinus de l'angle d'incidence par l'étendue de ces projections. Or toutes ces projections jointes ensemble, forment la base entiere DFL ; d'où il suit que pour avoir l'impulsion relative directe que souffre la proue entiere, il faut multiplier le quarré du sinus de l'angle d'incidence par l'étendue de la base DFL. Fig. 25.

L'impulsion relative directe est par conséquent diminuée par la saillie de la proue, dans le même raport que le quarré du sinus de l'angle d'incidence, qui est égal à l'angle LBE, que font les côtés du cône avec l'axe, est plus petit que le quarré du sinus total. Si l'angle LBE est de 45 degrés, le quarré du sinus de l'angle d'incidence sera la moitié du quarré du sinus total ; & la prouë conique ne recevra que la moitié de l'impulsion, que recevroit la base DFL, suposé que le fluide la frapât perpendiculairement. Par la même raison, si l'angle LBE est d'environ 18 degrés 26 minutes, ou si l'axe BE est triple du rayon EL de la base DFL, la figure aigue du cône sera cause que l'impulsion sera dix fois moindre : car le quarré de EL étant 1, le quarré de BE sera 9, & celui de BL sera 10 ; & il est évident que le quarré de BL comparé à celui de EL, marque le raport du quarré du sinus total au quarré du sinus de l'angle d'incidence. En général si n marque le nombre de fois dont l'axe est plus grand que le rayon de la base, le nombre n^2+1 marquera combien de fois l'impulsion directe est diminuée par la saillie du cône. Il est clair aussi que puisque toutes les parties du demi-cercle, multipliées par le quarré du sinus d'incidence, représentent également les impulsions relatives directes que souffrent les parties correspondantes de la surface conique, l'impulsion directe que souffre la prouë entiere, doit s'exercer sur une direction qui passe par le centre de gravité du demi-cercle DFL.

2°. Il ne doit pas être plus difficile de découvrir l'impulsion que souffre la prouë dans le sens vertical, ou la quantité de la force dont elle est poussée verticalement de bas

Fig. 25. en haut par la rencontre du fluide. Il faut, pour avoir chaque des petites impulsions que souffrent dans ce sens les parties de la surface conique, multiplier le quarré du sinus de l'angle d'incidence par les petites parties correspondantes du plan DBL qui en sont les projections; & pour avoir l'impulsion relative verticale entiere, il n'y a donc qu'à multiplier le quarré du sinus d'incidence par toute l'étendue du triangle DBL.

3°. Il suit de tout cela que l'impulsion relative que souffre la prouë conique dans le sens horisontal de son axe, est à l'impulsion relative qu'elle souffre dans le sens vertical, comme l'étendue du demi-cercle DFL est à l'étendue du triangle DBL. Ces deux étendues sont égales, l'une au rectangle de EL par la moitié FL de la demi-circonference DFL, & l'autre au rectangle de EL par EB. Ainsi elles sont l'une à l'autre comme FL est à EB; & par conséquent les impulsions relatives, directe & verticale sont entr'elles dans le même raport; l'une est à l'autre comme l'arc du quart de cercle FL est à l'axe EB. Si on veut donc obtenir la force absolue avec laquelle la proue est poussée par le concours de ces deux impulsions, il n'y a qu'à tirer une ligne horisontale VX, qui passe par le centre de gravité du demi-cercle DFL, & une verticale VY, qui passe par le centre de gravité du triangle DBL. Ces deux lignes représenteront les directions des deux impulsions relatives; & si on prend depuis le point d'intersection V des espaces VX & VY, pour représenter ces deux forces, & qui soient en même raison que l'arc FL & la droite BE, il n'y aura conformément aux régles de la composition des mouvemens, qu'à achever le rectangle YVXZ; & sa diagonale VZ indiquera la direction de l'impulsion composée ou absolue, & exprimera en même tems la grandeur de cette impulsion.

4°. Au reste il est facile de remarquer que les mêmes raisonnemens sont aplicables à le prouë conique, qui ne plongeroit qu'en partie dans l'eau; qui n'enfonceroit, par exemple, que jusqu'au tiers ou au quart du rayon EF, &

Digitized by Google

qui auroit donc ſon axe BE élevé au-deſſus de l'eau d'une certaine quantité. L'impulſion directe dans le ſens horiſontal ſeroit repréſentée par l'étendue du ſegment de la baſe DFL, qui ſe trouveroit ſubmergé, & l'impulſion relative verticale par l'étendue de la coupe du cône faite à fleur d'eau parallelement à l'axe BE. Cette coupe ſera une hyperbole qui redeviendra le triangle DBL, lorſque la proue ſera entierement ſubmergée. Dans tous ces cas les deux impulſions relatives s'exerceront toujours ſur des directions qui paſſeront par le centre de gravité des ſurfaces qui les repréſentent. Fig. 25.

II.

De l'impulſion que ſouffre une proue conoïdale formée par la circonvolution d'un arc de cercle.

1. Courbons maintenant les côtés BL & BD de la prouë; & au lieu de lignes droites, faiſons-en des arcs de cercle, & formons la prouë par la circonvolution d'un de ces arcs autour de l'axe BE. Nous pouvons de cette ſorte imiter ſenſiblement la forme d'une infinité de différens conoïdes, ſelon que nous prendrons l'arc du cercle générateur BL en differens endroits du quart de cercle IBL. Lorſque nous ferons commencer l'arc BL à moins de diſtance du point I, ou que nous prendrons pour axe BE de la prouë un ſinus qui aprochera davantage d'être égal au rayon IH, nous obtiendrons une prouë plus obtuſe: ce ſera le contraire, lorſque nous diminuerons l'arc BL; & nous pourrons encore, ſi nous le voulons, au lieu de prendre l'arc BL entier, nous arrêter à quelqu'une de ſes parties comme BK, en ne formant la prouë qu'avec le conoïde partial QBKP.

Si nous conſiderons ſur la ſurface de ce conoïde une zone Q*p*K, formée par la révolution de l'arc infiniment petit K*k*, toutes les parties de cette zone ſeront frapées avec la même incidence par le fluide qui ſe meut ſelon des paralleles à l'axe BE, & on pourra prendre la ligne KM,

Fig. 25. ſinus de l'arc KL pour le ſinus d'incidence. Car cette même ligne KM peut être regardée comme la direction du fluide, dont elle eſt le prolongement; & l'angle d'incidence qu'elle fait avec la ſurface du conoïde, ou avec la petite ligne K*k*, ou avec la tangente à l'arc de cercle au point K, a pour meſure l'arc KL, dont KM eſt le ſinus. Ainſi pour avoir l'impulſion que ſouffre dans le ſens direct parallele à l'axe BE, la zone Q*p*K, il n'y a qu'à multiplier le quarré du ſinus KM de l'angle d'incidence, par l'étendue de la zone projetée ſur le plan DFL : c'eſt-à-dire par la couronne ou anneau R*t*M.

Mais le quarré de KM eſt continuellement égal à cauſe de la proprieté du cercle, au quarré du rayon HI moins le quarré de HM; & comme nous pouvons mettre à la place du quarré de HM, le quarré de HE, joint à deux rectangles de HE par EM, & au quarré de EM, nous aurons à la place du quarré du ſinus d'incidence KM, cette quantité $HI^2 - HE^2 - 2HE \times EM - EM^2$, ou $BE^2 - 2HE \times EM - EM^2$, parce que le ſeul quarré de BE eſt égal à $HI^2 - HE^2$. Nous aurons donc l'impulſion relative directe ſur chaque zone Q*p*K, en multipliant la quantité $BE^2 - {}^2HE \times EM - EM^2$ par l'étendue de chaque anneau correſpondant R*t*M; & ſi nous réuſſiſſons à trouver la ſomme infinie de tous ces produits, nous obtiendrons l'impulſion directe ſur toute la ſurface conoïde.

Chaque de ces produits eſt formé de trois termes. Premierement le quarré BE^2 qui eſt la premiere partie, & une partie conſtante du quarré $BE^2 - 2HG \times EM - EM^2$ du ſinus de l'angle d'incidence, doit être multiplié par chaque petit anneau R*t*M; & puiſqu'il faut faire la même choſe pour toutes les autres zones de la ſurface conoïdale, nous aurons la ſomme de tous les premiers termes, en multipliant le quarré de BE par l'étendue entiere du demi-cercle DLF, qui eſt la ſomme de tous les anneaux. Nommant donc E l'étendue de la baſe DLF ou QPK, du conoïde DBLF ou QBPK qui forme la prouë, nous aurons $BE^2 \times E$ pour la ſomme des premiers termes de l'impulſion directe,

Les feconds termes ne font autre chofe que les produits de 2HE×EM par l'étendue des anneaux RtM; & il eft évident que ces anneaux croiffent en même raifon que EM qui leur fert de rayon, pendant qu'on fupofe conftante leur largeur infiniment petite Tt. Par conféquent les produits de 2EH×EM par l'étendue de chaque anneau correfpondant, croiffent comme les quarrés de EM, ou croiffent comme les quarrés de quantités qui augmentent en progreffion arithmetique; ils croiffent comme les tranches d'un cône ou d'une pyramide, faites perpendiculairement à l'axe: & pour avoir leur fomme infinie, il n'y a qu'à multiplier le plus grand de ces produits par le tiers de leur multitude. Il eft clair que cette multitude eft repréfentée ici par EL; & il n'eft pas moins évident que la plus grande de ces quantités eft 2HE×EM devenue 2HE×EL, & multipliée par le circuit DFL du plus grand anneau; c'eft-à-dire que cette quantité eft 2HE×EL×DFL, ou 4HE ×$\frac{1}{2}$EL×DFL, ou enfin 4HF×E, en mettant l'étendue E à la place du produit $\frac{1}{2}$EL×DFL qui lui eft égal. Si toutes ces quantités dont 4HE×E eft la derniere, étoient égales entr'elles, il nous faudroit encore multiplier 4HE×E par EL qui eft la fomme de toutes les petites largeurs Mm qui doivent entrer auffi dans le produit; mais vû la progreffion qu'elles fuivent, il ne faut multiplier que par $\frac{1}{3}$EL, & nous aurons donc $\frac{4}{3}$HE×EL×E pour la fomme infinie de tous les feconds termes de l'impulfion. Fig. 25.

Il nous refte à trouver la fomme des troifiémes termes qui font les produits de EM² par l'étendue de chaque anneau correfpondant RtM. Ces produits augmentent comme les cubes de EM; & il faut par conféquent multiplier le plus grand de ces produits par le quart de leur multitude. C'eft-à-dire que EL²×DFL qu'il faudroit multiplier par EL, fi toutes ces quantités qu'il s'agit de fommer, étoient égales entr'elles, ne doit être multipliée que par le quart de EL. Mais EL²×DFL eft égal à 2EL×$\frac{1}{2}$EL ×DFL, ou à 2EL×E, lorfqu'on met l'étendue E à la place de $\frac{1}{2}$EL×DFL. Ainfi il nous vient $\frac{2}{4}$×EL²×E pour

Fig. 25. la ſomme infinie des troiſiémes termes.

Réuniſſant maintenant les ſommes des trois termes qui compoſent l'impulſion directe, nous aurons pour cette impulſion $BE^2 \times E - \frac{4}{3} HE \times EL \times E - \frac{1}{2} \times EL^2 \times E$, ou la quantité $BE^2 - \frac{4}{3} HE \times EL - \frac{1}{2} \times EL^2$ multipliée par l'étendue E. Dans les cas où la prouë ne ſera formée que par le conoïde partial QBKP ; au lieu du rayon EL de la baſe DFL, il faudra employer le rayon NK de la baſe QPK ; & E déſignant l'étendue de cette ſeconde baſe, on aura $BE^2 - \frac{4}{3} HE \times NK - \frac{1}{2} \times NK^2$ multiplié par E pour l'impulſion que recevra dans le ſens de ſon axe le conoïde partial QBKP.

Supoſé que HE ſe réduiſe à rien, ou qu'on prenne HI pour axe du conoïde, le ſecond terme de la quantité précedente diſparoîtra, BE deviendra IH, & l'impulſion que recevra la ſurface ſphérique formée par la révolution de l'arc IK, ſera exprimée par $IH^2 - \frac{1}{2} \times SK^2$ multiplié par E, qui déſignera alors l'étendue du demi-cercle, dont SK eſt le rayon.

Enfin, ſi la prouë eſt formée par la révolution du quart de cercle entier IL, l'impulſion ſera $IH^2 - \frac{1}{2} \times HL^2$ ou $\frac{1}{2} \times IH^2$ multiplié par E ; ce qui montre que la convexité de l'hemiſphere fait diminuer de moitié l'impulſion directe. Car ſi la ſurface E étoit expoſée elle-même au choc & directement, elle recevroit une impulſion qui ſeroit exprimée, non pas par $\frac{1}{2} \times IH^2 \times E$, mais par $IH^2 \times E$, produit de ſon étendue par le quarré du ſinus total.

2. Il ſera facile de comparer le conoïde que nous venons d'examiner avec le cône inſcrit ; & de juger lequel des deux eſt le plus propre à former une prouë qui éprouve moins de réſiſtance. Imaginons-nous que le point B ſoit le ſommet du cône, & DEF ſa baſe. L'angle d'incidence du fluide ſur la ſurface du cône, ſera égal à l'angle EBL, ou à la moitié de l'angle BHL, & ſon ſinus ſera par conſéquent égal à la moitié de la corde BL qu'on doit ſupléer dans la figure. Le quarré du ſinus d'incidence ſera donc $\frac{1}{4} \times BE^2 + \frac{1}{4} \times EL^2$, & l'impulſion directe dans le ſens de

l'axe

l'axe sera le produit de cette quantité par E. Or si on retranche cette impulsion de celle que souffre le conoïde même DBFL, il restera $\frac{1}{4} \times BE^2 - \frac{3}{4} HE \times EL - \frac{1}{4} \times EL^2$ multiplié par E, pour l'excès de l'impulsion que reçoit le conoïde sur celle que reçoit le cône; & il est facile de reconnoître que cette quantité est réellement un excès, parce qu'elle est toujours positive. Ainsi le cône inscrit dans la circonstance que nous avons marquée, a un avantage réel sur le conoïde circonscrit: il fend toujours les fluides avec plus de facilité. Mais il est digne de remarque qu'à mesure qu'on fait augmenter BE ou diminuer HE, l'avantage aille en diminuant, & qu'il devienne nul aussi-tôt que le conoïde est un Hemisphere. Alors BE devient IH, pendant que EL devient HL, & que HE s'évanoüit; ce qui anéantit entierement la difference qui se trouvoit entre les deux impulsions: l'hémisphére & le cône inscrit font alors diminuer par leur saillie l'impulsion également de moitié. Fig. 25.

3. Ce sera en suivant à peu près la même voie, quoique la difficulté soit un peu plus grande, qu'on découvrira l'impulsion relative que souffre le conoïde dans le sens vertical. Si on nomme a le sinus total ou rayon IH; c la distance HE, & z la variable HM, on aura $a^2 - z^2$ pour le quarré de KM, ou pour le quarré du sinus de l'angle d'incidence sur toute la zone QpK: on aura en même tems $\frac{zdz}{\sqrt{a^2 - z^2}}$ qui est la différentielle de KM $(= \sqrt{a^2 - z^2})$ pour la valeur de KO ou de Nn; & si on multiplie cette valeur de KO par NK $= z - c$, & qu'on en prenne le double, il viendra $\frac{2z^2dz - 2czdz}{\sqrt{a^2 - z^2}}$ pour le petit trapeze KQqk. Ce trapeze, qui est la projection de la zone QpK, est comme *l'exposant* de l'impulsion relative que souffre cette zone selon le sens vertical: c'est pourquoi il n'y a donc qu'à le multiplier par le quarré $a^2 - z^2$ du sinus d'incidence, & on aura $2z^2dz\sqrt{a^2 - z^2} - 2czdz\sqrt{a^2 - z^2}$ pour l'impulsion éle-

Fig. 25. mentaire que souffre la zone; impulsion qu'il ne reste plus qu'à intégrer, pour obtenir celle que reçoit la surface entiere du conoïde.

L'intégrale qu'on trouve par les méthodes ordinaires est $\frac{1}{2}a^2 \int dz\sqrt{a^2 - z^2} + \overline{\frac{2}{3}c - \frac{1}{2}z} \times \overline{a^2 - z^2}^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{6}c \times \overline{a^2 - z^2}^{\frac{3}{2}}$ après qu'on l'a renduë complette. Ainsi s'il s'agit du conoïde partial QBKP, & qu'on nomme F l'étenduë $\int dz\sqrt{a^2 - z^2}$ du segment BEMK compris entre les sinus BE & KM, & qui a pour largeur EM le rayon de la base du conoïde, on aura pour l'impulsion relative verticale $\frac{1}{2} \times HI^2 \times F + \overline{\frac{2}{3}HE - \frac{1}{2}HM} \times KM^3 - \frac{1}{6}HE \times BE^3$. Cette valeur se réduira à $\frac{1}{2} \times IH \times F - \frac{1}{6}HE \times BE^3$ qui est beaucoup plus simple, lorsqu'il s'agira du conoïde entier DBFL; parce que KM deviendra nulle, & alors F désignera l'étenduë entiere du segment BEL. Suposé d'un autre côté qu'on demande l'impulsion que souffre dans la détermination verticale une zone sphérique formée par la révolution de l'arc IK autour de IS comme axe; alors HE sera nulle, & BE deviendra IH, la lettre F désignera l'étenduë du segment IHMK; & on aura $\frac{1}{2} \times IH^2 \times F - \frac{1}{2}HM \times KM^3$ pour l'impulsion.

Enfin si la zone ou surface sphérique est formée par la demi-révolution du quart de cercle entier IL, le sinus KM deviendra nul; ce qui fera évanouir le dernier terme; & l'impulsion relative verticale sera exprimée par $\frac{1}{2} \times IH^2 \times F$; c'est-à-dire, par la moitié du quarré du sinus total multipliée par l'aire du quart de cercle IHL : au lieu que nous avons vû ci-devant que l'impulsion relative dans la détermination horisontale parallele à l'axe, est alors égale au produit de la moitié du quarré du sinus total par l'étenduë entiere E du demi-cercle. Ainsi on voit qu'une prouë sphérique formée par la demi-revolution d'un quart de cercle, éprouve deux fois plus d'impulsion dans le sens horisontal que dans le vertical : & on en conclura, en consultant les Tables Trigonométriques, que la résistance totale ou absoluë VZ qu'elle souffre par la rencontre de l'eau & qui est composée des deux impulsions relatives horisontale

VX, & verticale VY, s'exerce alors sur une direction VZ qui fait avec l'horison un angle ZVX d'environ 26 degrés 34 minutes. Fig. 25.

CHAPITRE VI.

Méthode de trouver l'impulsion que souffrent les surfaces courbes en les partageant en plusieurs parties sensiblement planes.

CETTE matiere est susceptible d'une infinité de différentes recherches, vû la multitude infinie des surfaces courbes qu'on peut exposer à l'impulsion des fluides. J'ai donné ailleurs des formules générales pour examiner à cet égard tous les conoïdes, non-seulement ceux qui ont un cercle pour base, ceux aussi qui ont pour base tout autre plan.* Mais il faut l'avouer ingénument, que comme la carène n'a pas ordinairement une figure exacte, ni celle d'un conoïde, ni aucune autre, on est obligé presque toujours de renoncer aux moyens purement géométriques qui attribueroient aux Navires une figure qu'ils n'auroient pas. Il faudra donc se contenter le plus souvent de partager la surface de la prouë en assez de parties, pour qu'elles soient sensiblement planes; & examiner ensuite l'une après l'autre & séparement l'impulsion que recevra chacune. L'opération que je vais indiquer pour cela, me paroît d'un usage beaucoup plus commode dans la pratique, que celle que j'ai donnée dans les additions à mon Traité de la Mâture.**

* Voyez le Traité de la Mâture des Vaisseaux, Chapitre VIII. de la premiere Section, & les Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, année 1733, page 94.

** Je négligeois de relever ici une petite injustice commise à mon égard sur ce sujet; parce que j'étois bien persuadé de la droiture des intentions de celui dont je pouvois me plaindre. M. Pitot parle dans sa Théorie de la Manœuvre (pages 105 & 1 6, comme si je n'avois pas donné dans mon Traité de la Mâture des Vaisseaux cette seconde méthode, que je vais encore expliquer actuellement, mais en la rendant plus simple. Cependant je l'avois déja réduite à une

Digitized by Google

I.

Trouver l'impulsion de l'eau dans la route directe sur une proue dont on a le plan.

Nous supposons que toute la surface de la partie antérieure de la carène est divisée par plusieurs plans horisontaux &

pratique reguliere & commode : cette méthode, s'il m'est permis de le dire, me devoit toute sa perfection, comme on le verra en examinant les pages 128 & suivantes de mon Traité ; & il est certain qu'on ne peut pas la remplacer, par la maniere particuliere & trop limitée de M. Pitot, de considerer le Navire. Il l'a regardé comme un Poligone irregulier, ou ce qui revient au même, il l'a suposé terminé par un simple trait horisontal : mais cette suposition ne seroit pas admissible, quand même toutes les tranches du Vaisseau faites horisontalement seroient des figures semblables ; parce que l'impulsion de l'eau seroit toujours alterée & alterée différemment, par les diverses inclinaisons de la surface de la carène dans le sens vertical.

Je me trouve obligé de faire cette note, voyant qu'un Auteur, dont l'ouvrage vient de paroître, repete en partie ce qu'avoit dit M. Pitot & ajoute outre cela, de son chef, que la méthode de partager la surface de la proue en parties triangulaires sensiblement planes, n'est ni exacte ni d'un usage assez simple. Pour moi j'avoue que lorsqu'on a poussé la division de chaque moitié de la surface de la proue jusqu'à une vingtaine de parties triangulaires, il me paroît que rien n'empêche de les traiter comme planes, dans les Navires de toutes les grandeurs : de même qu'on fait tous les jours avec succès des supositions semblables dans les besoins de la Géométrie pratique. Que la méthode soit trop longue, je n'en conviens point encore, car l'Auteur n'a pas droit de me reprocher qu'on s'engage dans un travail de plusieurs jours, toutes les fois qu'on veut faire usage de cette méthode pour huit ou dix routes ; puisque je montrois, comme je le fais encore ici, le moyen de se dispenser de cette peine : je faisois voir qu'il suffit de chercher l'impulsion pour une ou deux routes, & presque toujours pour une seule. Je ne parlois en un mot d'un travail de plusieurs jours auquel il falloit se livrer, que pour mieux faire sentir l'importance de la Théorie que j'allois établir dans les Chapitres suivans, qui réduisoit ce long travail à une opération qui ne demandoit que quelques heures d'aplication. Qu'il me soit permis de représenter encore à l'Auteur, qu'on ne perfectionne point un Art en passant à côté des difficultés, ou en substituant des principes faux à la place des vrais, lorsque ceux-ci paroissent trop difficiles à appliquer. Il y a moyen d'ailleurs de faire toujours ensorte que la peine & le travail ne soient pas pour les Marins : il suffit que des personnes laborieuses & assez intelligentes pour cela achevent à Terre tous les calculs, ou toutes ces sortes d'opérations dont on peut ensuite rédiger les résultats & former des Tables pour la commodité des Navigateurs. On se trouve effectivement tous les jours sur Mer dans des circonstances pressantes qui ne permettent pas d'avoir recours pour se décider, à des pratiques numériques ou graphiques ; au lieu qu'on a toujours le tems de jetter les yeux sur une Table qui fournit des solutions toutes calculées. Mais il faut encore une fois que les personnes qui comme l'Auteur, nous offrent ces solutions, ne croyent pas que c'est aplanir les difficultés, que de négliger quelques unes ou plusieurs des conditions les plus essentielles.

Digitized by Google

verticaux également éloignés les uns des autres. Les plans verticaux, en coupant cette surface, fournissent la figure des membres, que les Constructeurs sont déja dans la possession de tracer sur le plan même de la maîtresse varangue, sur lequel ils les projettent. Ces coupes sont représentées dans la Figure 75 par les lignes courbes ABD, GIB*ig*, KLM*lkm*, &c. qui sont ici raportées sur le même plan, mais qu'il faut concevoir dans des plans différens & à une égale distance les uns des autres, en avançant vers l'extrémité de la proüe. Ces plans partagent toute la surface antérieure de la carène en plusieurs zones, dont la longueur est disposée selon le contour des varangues. Si après cela on imagine plusieurs plans, mais horisontaux, aussi également éloignés les uns des autres, dont les sections avec le maître gabari soient représentées par les droites AD, EP, RS, toute la surface de la proüe se trouvera partagée dans des especes de trapezes ; mais je crois qu'il sera toujours à propos de pousser la division encore plus loin, pour que les parties de la surface aprochent plus d'être planes. On fera passer par la pensée des plans obliques, par l'intersection des plans horisontaux & verticaux ; la surface de la proüe se trouvera de cette sorte toute partagée en triangles, dont on ne voit dans notre figure que les projections GHK, KHL, HLI, &c. Fig. 75.

Tout cela étant supposé, & la figure étant achevée avec exactitude, il sera facile de trouver sans aucun autre secours, la mesure précise de l'angle d'incidence du choc de l'eau sur chaque partie triangulaire, ou même de trouver immédiatement le sinus de cet angle, ou le quarré de ce sinus. Proposons-nous le triangle dont GHK est la projection ; nous abaisserons de son sommet K la perpendiculaire KO sur la base GH qui est sensiblement droite, quoiqu'elle soit une partie de ligne courbe. Je forme ensuite à part un triangle rectangle OKV qui a pour côté KO la longueur de cette perpendiculaire, & pour autre côté KV la distance d'un plan vertical à l'autre, ou la distance dont la coupe KM*k* est plus avancée vers l'extrémité de

Fig. 75. la prouë que la coupe GBg. Il est évident que OV représentera la hauteur de la partie triangulaire actuellement choquée, & que l'angle OVK sera égal à l'angle d'incidence, sous lequel l'eau rencontre cette partie ; puisque nous suposons que le choc se fait selon une parallele à VX ou à l'axe.

Ainsi si on prend KV pour sinus total, il n'y aura qu'à abaisser la perpendiculaire KY sur OV, & cette perpendiculaire sera le sinus de l'angle d'incidence ; & pour avoir l'expression de son quarré, il n'y aura qu'à abaisser du point Y la perpendiculaire YZ sur KV, & prendre le segment ou la partie interceptée KZ : car KV sera à KZ comme le quarré de KV (sinus total) est à celui de KY (sinus d'incidence.) Il ne restera donc plus qu'à mesurer le segment KZ en parties égales, qui représentent des pouces ou des lignes, & le multiplier par l'étendue du triangle de projection HGK, & on aura l'impulsion relative directe, à laquelle sera exposée la partie triangulaire dont il s'agit. Si on multiplioit le segment KZ par l'étendue même de la partie triangulaire choquée, on auroit l'impulsion absolue ; mais pour avoir l'impulsion relative directe, il ne faut, comme nous l'avons déja dit tant de fois, multiplier KZ que par le triangle de projection GHK, qui est perpendiculaire à cette direction. Au surplus il sera facile d'avoir l'étenduë de ce même triangle ; puisqu'elle est la moitié du produit de GH par KO, que la figure fournit toujours, aussi-tôt qu'elle est faite exactement.

Il n'y aura qu'à faire la même chose pour toutes les autres parties triangulaires, en abaissant toujours les perpendiculaires KO, HQ sur le contour d'une des coupes ; faisant ensuite une somme de toutes les impulsions particulieres qu'on aura trouvées, il viendra l'impulsion relative directe que recevra la prouë entiere. On sçaura de cette sorte combien la saillie ou la convexité de la prouë fait diminuer l'impulsion : car si la prouë étoit sans saillie & qu'elle fût terminée par un plan exactement vertical

ARBSD, l'impulsion feroit représentée par l'étenduë entiere de ce plan multipliée par KV. Fig. 75.

II.

Trouver l'impulsion de l'eau dans les routes obliques.

1°. Quoique l'opération dans laquelle il faut s'engager pour trouver l'impulsion que souffre la proüe dans les routes obliques, conserve toujours beaucoup de la simplicité à laquelle nous avons porté la premiere, elle ne peut pas cependant manquer d'être plus longue. Nous avons besoin pour cela d'un principe qui nous servira encore dans plusieurs autres rencontres. Suposons que EF (Fig. 76.) soit la direction d'un fluide qui se meut horisontalement & qui vient rencontrer obliquement la base CD d'une surface plane posée verticalement. Si on prend l'espace EF pour représenter le sinus total; & que du point E on abaisse la perpendiculaire EG sur la base CD, cette perpendiculaire sera le sinus de l'angle d'incidence, & son quarré représentera la force de l'impulsion. Mais si on incline la surface qui étoit située verticalement, la ligne EG qui étoit perpendiculaire à la base CD, ne sera plus perpendiculaire à la surface; mais ce sera une autre ligne EH plus petite que EG, dans le raport du sinus de l'angle d'inclinaison EGH au sinus total ou au sinus de l'angle droit H. Ainsi l'impulsion qui étoit représentée par le quarré de EG le sera desormais par le quarré de EH, qui est maintenant le sinus de l'angle d'incidence; & on voit que le sinus total est à ce sinus d'incidence, en raison composée de la raison du sinus total au sinus de l'obliquité EFG de la direction du fluide, par raport à la base CD de la surface, & de la raison du sinus total au sinus de l'inclinaison EGH de la même surface. Il suit donc de là que si on change l'obliquité de la base de la surface, sans changer l'inclinaison: ou que si on change l'inclinaison de la surface en laissant constante l'obliquité de la base, l'impulsion sera

Digitized by Google

Fig. 76. comme le seul quarré du sinus de l'obliquité ou de l'inclinaison changée.

Ce principe étant admis, je supose qu'on a divisé la surface de la prouë en plusieurs petits triangles, comme cidevant, & qu'on a même déja cherché pour chaque partie la grandeur du sinus de l'angle d'incidence pour la route directe. Ces sinus d'incidence seront découverts pour l'inclinaison de chaque petite surface & pour l'obliquité de la base par raport au cours direct de l'eau. L'inclinaison n'est pas sujette à changer puisqu'elle ne dépend que de la nature de la surface; il n'y a que l'obliquité de la base par raport au cours du fluide, qui devient différente dans les routes obliques. Ainsi les sinus d'incidence doivent changer précisément en même raison que les sinus de ces obliquités; & il nous faut donc travailler d'abord à exprimer le raport que suivent ces derniers sinus.

Fig. 77. & 78. Je forme pour cela un triangle GKV (Fig. 77. & 78.) qui a un côté KV égal à l'intervale qu'il y a entre les plans verticaux qui divisent la surface de la prouë. Son second côté GK est égal à GK de la figure 75 & l'hypothénuse GV est par conséquent égale au côté horisontal de la partie triangulaire exposée au choc, & dont GKH est la projection. Dans la route directe le fluide se meut parallelement à VK, & il suffit donc d'abaisser du point K la perpendiculaire KQ sur GV, pour avoir le sinus de l'obliquité du fluide par raport à la base GV de la partie choquée de la surface de la prouë. Mais dans les routes obliques le fluide n'a pas une direction parallele à KV. Je tire une ligne VX pour représenter la direction du fluide, laquelle doit faire avec VK un angle égal à celui de la *dérive* ou à la déviation de la route. Je conduis cette ligne en dehors, comme dans la Figure 77, pour toutes les parties triangulaires qui appartiennent au côté de la prouë qui est le plus exposé au choc: au lieu que je la tire en dedans pour l'autre côté, comme dans la Figure 78. Je retranche ensuite VL égale à VK; & abaissant du point L la perpendiculaire LS sur VG, j'aurai dans cette perpendiculaire le sinus

nus de la nouvelle obliquité LVG du fluide par raport à la base de la partie triangulaire choquée, & par conséquent KQ & LS marqueront le raport qu'il y a entre les sinus d'incidence qui appartiennent aux deux divers cas. C'est pourquoi je tire par les points L & K la droite LP jusqu'à la rencontre de VG prolongée ; & transportant en QR le sinus d'incidence qui apartient à la route directe & que je prend en KY dans la Figure 75, je n'ai plus qu'à tirer la droite PRT & elle me déterminera en ST le sinus d'incidence que je cherchois pour la route proposée.

Toute l'opération se réduit donc, si nous la prenons dès le commencement, à former pour chaque petite partie triangulaire de la surface de la prouë, un triangle rectangle OKV (Fig. 75.) qui ait son côté KV égal à la distance d'un plan vertical à l'autre de ces plans qui ont servi à diviser la surface de la pouë, & pour second côté KO la perpendiculaire, qui dans chaque triangle GKH ou KHL de projection est abaissée du sommet K ou H sur le côté oposé GH ou KL, qui est une partie de la ligne courbe qui forme les coupes. Dans le triangle OKV on abaissera la perpendiculaire KY sur l'hypoténuse ; & on aura, comme on le sçait, le sinus d'incidence pour la route directe. On fera ensuite un autre triangle GKV (Fig. 77. & 78.) dans lequel le côté KV sera le même ; & KG égal à KG de la Figure 75. On tirera VX qui doit faire avec KV un angle KVX égal à la dérive : On fera LV égal à KV, & abaissant les deux perpendiculaires KQ & LS sur GV, elles marqueront le raport qu'il y a entre les sinus d'incidence pour la route directe & pour la route oblique proposée. Enfin on tirera LP ; & mettant en QR le sinus d'incidence trouvé ci-devant pour la route directe ; la droite PRT terminera donc en T le sinus d'incidence requis TS, pour la route oblique. Fig. 75. 77. & 78.

Je crois qu'il n'est pas nécessaire d'avertir que le sinus d'incidence étant ainsi découvert & mesuré sur une échelle de parties égales, il ne restera plus qu'à en multiplier le quarré par l'étenduë de la projection GHK, ou KHL

Digitized by Google

Fig. 75. 77. & 78. (Fig. 75.) de chaque partie triangulaire de la ſurface, pour avoir l'impulſion qu'elle reçoit, & qu'ajoutant enſemble toutes les impulſions particulieres, on aura l'impulſion dans le ſens de l'axe ſur toute la prouë. Nous ajouterons ſeulement qu'on peut ſe diſpenſer de repeter la même opération pour pluſieurs routes obliques, en ſe contentant de la faire pour une ſeule & pour la route directe; parce que les excès des impulſions dans les routes obliques ſont continuellement proportionels aux quarrés des ſinus de l'obliquité de la route par raport à la quille. On démontrera dans le Chapitre ſuivant cette proprieté ſinguliere, qu'on peut auſſi déduire des formules du Chapitre IV. & de celles dont nous avons parlé à la tête de celui-ci; proprieté qui, comme on le voit, peut nous épargner un travail très-conſidérable. L'impulſion dans le ſens de l'axe étant trouvée pour la route directe & pour une ſeule route oblique; on n'a que cette ſimple analogie à faire: le quarré du ſinus de la déviation de la route, eſt à l'excès de l'impulſion pour cette route oblique ſur l'impulſion que ſouffre la prouë dans la route directe, comme le quarré du ſinus de toute autre déviation ſera à l'excès de l'impulſion qu'elle produira, ſur l'impulſion de la route directe.

2°. On trouvera l'impulſion que ſouffre en même tems la prouë dans le ſens latéral, ou dans la détermination horiſontale perpendiculaire à l'axe, en multipliant le quarré du ſinus d'incidence par chaque petite partie triangulaire de la ſurface de la prouë, projettée ſur le plan vertical qui coupe le vaiſſeau par le milieu ſelon ſa longueur. Il eſt évident que chaque partie triangulaire a pour projection un autre triangle qui a pour baſe la diſtance d'un plan vertical à l'autre, de ces plans qui partagent la ſurface de la prouë, & pour hauteur la quantité dont les plans horiſontaux ſont les uns au-deſſus des autres. C'eſt ce qu'on verra en y faiſant un peu d'attention, & en jettant les yeux ſur la Figure 75. Tous ces triangles ſont égaux entr'eux: ainſi pour avoir l'impulſion latérale par une ſeule opéra-

tion, il n'y a qu'à multiplier la ſomme de tous les quarrés des ſinus d'incidence par l'étenduë d'un ſeul triangle. Il ſuffira encore d'employer cette méthode pour une ſeule route oblique. Car nous démontrerons que les impulſions latérales totales ſont proportionnelles aux rectangles des ſinus des obliquités par leurs ſinus de complement : d'où il ſuit que connoiſſant une de ces impulſions, il eſt très-facile de découvrir toutes les autres. Fig. 75. 77. & 78.

3°. Si on veut obtenir l'impulſion relative qui agit dans le ſens vertical, il n'y aura qu'à multiplier le quarré de chaque ſinus d'incidence par le triangle de projection que donne ſur un plan horiſontal, chaque partie triangulaire de la ſurface de la prouë. Il n'eſt pas difficile de reconnoître que tous ces triangles de projection ont une égale hauteur ; ils ont pour hauteur la diſtance qu'il y a entre les plans verticaux qui partagent la ſurface, & pour baſe les excès des demies largeurs de la prouë meſurées les unes au-deſſous des autres dans les mêmes plans verticaux.

4°. Enfin il ne reſtera plus qu'à déterminer la direction ſur leſquelles s'exercent les impulſions. Celle que ſouffre chaque petite partie triangulaire peut être conſiderée comme réunie dans le centre de gravité du triangle de projection. Ainſi il n'y aura, conformement au grand principe de Statique, qu'à concevoir un plan vertical à côté du Navire parallelement à ſa longueur, & multiplier chaque petite impulſion directe par la diſtance des centres de gravité de tous les petits triangles KGH, KHL à ce plan ; & diviſant la ſomme des produits par celle des impulſions ; on ſçaura combien la direction compoſée ou commune eſt éloignée du plan qu'on a pris pour terme. Il ne ſera pas plus difficile de trouver combien cette même direction eſt enfoncée dans l'eau, en imaginant un plan horiſontal auquel on prendra toutes les diſtances. On appliquera la même méthode aux impulſions latérales, &c.

Ces recherches étant achevées, on connoîtra non-ſeulement les impulſions que ſouffre la prouë dans le ſens direct ou dans la détermination latérale perpendiculaire à

l'axe, on connoîtra la ſituation des lignes qui leurs ſervent de directions; & il ſera facile d'en trouver la direction compoſée. Tirant deux lignes RM & RN (Fig. 67.) l'une parallele à l'axe de la prouë & à la diſtance qu'on aura trouvée que doit être la direction de l'impulſion relative directe; l'autre RN perpendiculaire à l'axe & à la diſtance PA de l'extrémité de la prouë qu'agit l'impulſion latérale, il n'y aura qu'à prendre ſur ces lignes depuis leur interſection R des eſpaces RM & RN pour repréſenter les deux impulſions ; & achevant le rectangles RMTN, on aura dans ſa diagonale RT l'impulſion abſoluë qui réſulte de la compoſition des deux autres & ſa direction. Ce ſera ſelon la même ligne RT, mais en ſens contraire, que doit s'exercer l'impulſion du vent ſur la voile, conformément à la Théorie établie dans le premier Chapitre de cette Section. Quand même il ſeroit néceſſaire d'entreprendre pour pluſieurs routes, toutes les opérations que nous venons de preſcrire, je ne crois pas, vû les connoiſſances qu'elles procureront, qu'on pût nous objecter leur longueur. Elles feront principalement utiles, lorſqu'on voudra choiſir entre differens plans propoſés pour le même Navire : On diſtinguera d'une maniere infaillible celui qui par la figure de ſa prouë fera diminuer le plus la réſiſtance de l'eau ; & il ſuffira preſque toujours pour cela, comme on le verra dans un moment, d'examiner l'impulſion à laquelle chaque figure eſt ſujette dans la route directe.

CHAPITRE VII.

Remarques sur les changemens que reçoivent les impulsions que souffrent les surfaces courbes, lorsque le fluide change de direction.

IL nous reste à démontrer diverses choses, que nous venons de laisser sans preuve. Nous allons y supléer; & nous profiterons de l'occasion pour exposer en même tems plusieurs autres proprietés très-remarquables, ou plutôt très-surprenantes, qu'ont les surfaces courbes par raport aux impulsions qu'elles reçoivent. Nous en avons déja expliqué ailleurs quelques unes *: mais nous en découvrirons ici de nouvelles; & la maniere outre cela dont nous exposerons les anciennes, leur donnera peut-être un nouveau dégré d'évidence à toutes. Quoique la surface de la prouë ait une courbure mécanique, qu'elle soit irreguliere, qu'elle soit même comme formée au hazard, les chocs ausquels elle est sujette changent selon une loi expresse, & leur relation, comme on s'en convaincra, peut toujours s'exprimer d'une maniere générale & géométrique.

* Voyez les addit. au Traité de la Mâture des Vaisseaux, Chap. V. & suivans.

I.

Soit VG (Fig. 79.) une petite partie droite ou plane d'une ligne ou d'une surface courbe exposée au choc d'un fluide, laquelle est terminée par GK & VK perpendiculaire & parallele à l'axe de la surface totale. Dans la route directe ou lorsque la prouë se meut parallelement à son axe ou à KV, on a GVK pour l'angle d'obliquité de la direction du fluide par raport à la surface, qui peut d'ailleurs être inclinée par raport à l'horison; mais nous ne faisons point intervenir ici cette considération, parce que nous ne nous proposons pas de découvrir la quantité réelle de l'impulsion, mais seulement le changement qu'elle souffre dans

Fig. 79.

Fig. 79. les routes obliques ; changement, qui selon ce que nous avons prouvé au commencement du second article du Chapitre précédent, ne dépend que du seul sinus de l'obliquité. Ce sinus dans la route directe est KQ, lorsqu'on prend VK pour sinus total & que KQ est perpendiculaire à GV. Mais si la route est oblique, si la proue, au lieu de choquer l'eau selon des paralleles KV à l'axe, la va rencontrer selon des paralleles à XV, & que XVK soit donc égal à la déviation de la route ou à l'angle de la *dérive*, on aura l'angle GVX, pour l'obliquité actuelle du fluide par raport à la surface, & LS pour son sinus ; & si on fait l'angle KV*x* égal à l'angle KVX, on aura l'angle GV*x* pour l'obliquité du fluide par raport à l'autre partie de la proue correspondante de GV, & qui est de l'autre côté de l'axe, & *ls* sera le sinus de cette seconde obliquité ; suposé que *l*V de même que LV soit égale à KV, & que *ls* & LS soient perpendiculaires à GV. Nous partagerons de cette sorte moins notre attention, & on voit bien que ce sera précisement la même chose que si nous considerions en même tems deux petites parties de la proue également situées de part & d'autre de l'axe. Les deux impulsions que reçoivent ces deux parties se joignent ensemble, puisqu'elles s'exercent précisement dans le même sens : c'est pourquoi il nous reste à trouver la somme des quarrés de sinus LS & *ls*, & à la multiplier par GK.

Du point M qui est au milieu de la corde L*l* de l'arc de cercle *l*KL, j'abaisse la perpendiculaire MR sur GV ; & je remarque que la quantité MO dont elle est plus grande que le sinus *l*S, est égale à la quantité NL dont elle est plus petite que l'autre sinus LS : c'est-à-dire que nous avons RM + NL & RM — NL pour le sinus des obliquités du fluide par raport aux deux petites parties de la proue ; & nous aurons donc $\overline{RM}^2 + 2 \times RM \times NL + \overline{NL}^2$ & $\overline{RM}^2 - 2RN \times NL + \overline{NL}^2$ pour leurs quarrés, & $2 \times \overline{RM}^2 + 2 \times \overline{NL}^2$ pour la somme de ces quarrés. Ainsi il n'y a qu'à

multiplier le double de $\overline{KM}^2 + \overline{NL}^2$ par GK pour avoir l'impulſion relative direƈte $2 \times \overline{RM}^2 \times GK + 2 \times \overline{NL}^2 \times GK$ que ſouffrent les deux parties correſpondantes GV conjointement ; en tant que cette impulſion dépend de l'obliquité de la direction que ſuit le fluide. Après cela il faut faire attention que quelque changement que reçoive l'angle KVX, qui eſt l'obliquité de la route ou de la direction du fluide par raport à l'axe de la prouë, la ligne RM conſerve toujours le même raport à MV qui eſt le ſinus de complement de cette obliquité. La premiere eſt à la ſeconde continuellement comme GK eſt à GV ; & NL eſt auſſi toujours proportionelle à ML, qui eſt le ſinus de cette même obliquité. Or il ſuit de là, que l'impulſion que ſouffrent ſelon la détermination relative parallele à l'axe deux portions correſpondantes de la ſurface de la prouë, eſt formée dans les routes obliques de deux parties, dont l'une eſt toujours proportionelle au quarré du ſinus complement de l'obliquité de la route, & l'autre proportionelle au quarré du ſinus de cette même obliquité. Fig. 79.

II.

Mais la remarque peut encore être pouſſée plus loin. Si l'obliquité de la route augmente ou diminue, de maniere que le quarré de ſon ſinus LM augmente ou diminue exactement en progreſſion arithmetique, le quarré de ſon ſinus de complement VM, changera auſſi, quoi qu'en ſens contraire dans la même progreſſion, puiſque les deux quarrés ſont toujours une ſomme conſtante, ou qu'ils ſont égaux enſemble au quarré du ſinus total VL. Mais les quarrés de LM & de VM changeant en progreſſion arithmetique, les quarrés de NL & de RM qui ont chacun un raport conſtant aux deux autres quarrés, pour chaque partie GV & ſa correſpondante, changeront dans la même progreſſion, & par conſéquent les impulſions directes que ſouffriront les deux parties correſpondantes de la prouë,

Fig. 79. changeront auſſi en progreſſion arithmetique. Il eſt vrai que ſi on examine deux autres parties correſpondantes de la prouë, l'impulſion qu'elles recevront ne ſuivra pas préciſement la même progreſſion ; ce qui viendra non-ſeulement de ce que les raports de RM à MV & de NL à ML ſeront différens ; mais auſſi de ce que ces autres parties auront des inclinaiſons différentes dans le ſens vertical. Mais les impulſions auſquelles elles ſeront ſujettes conjointement, étant priſes deux à deux, changeront cependant toujours en progreſſion arithmetique ; car on pourra leur apliquer tout ce que nous avons dit des deux parties GV. Or puiſqu'il eſt certain qu'en ajoutant les termes d'une telle progreſſion avec les termes, je ne dis pas ſimplement de deux ou de trois autres, mais d'une infinité, on retrouve toujours une progreſſion arithmetique, il s'enſuit que *c'eſt une proprieté commune aux prouës de toutes ſortes de figures, que lorſque l'obliquité de la route change, de maniere que le quarré de ſon ſinus croît ou diminue en progreſſion arithmetique, l'impulſion dans le ſens de l'axe ou de la quille, change auſſi en progreſſion arithmetique*

III.

Il eſt ſelon cela très-facile de repréſenter par lignes les impulſions que ſouffrent dans toutes les routes, ſelon le ſens de leur axe, les prouës de toutes ſortes de figures. Il n'y a qu'à apliquer ces impulſions aux quarrés des ſinus des obliquités des routes, & comme elles ſeront en progreſſion arithmetique, elles ſeront terminées par une ligne droite. Je prens l'eſpace CA (Fig. 80.) pour repreſenter le ſinus total, & en même tems l'axe de la ſurface courbe qui ſert de prouë, laquelle n'eſt pas exprimée dans la figure pour éviter le confuſion. Je trace ſur CA comme diamétre un demi-cercle ABC, & les droites CX1, CX2, &c. repréſentant les diverſes directions ſelon leſquelles le fluide rencontre la prouë, les droites AL1, AL2, &c. ſeront les ſinus des obliquités des routes ou des

Fig. 80.

des divers angles de déviation ou de dérive, & CL_1, CL_2, &c. ls sinus de complement. Il est évident outre cela que les parties AM_1, AM_2, &c. du diamétre qui sont interceptées entre le point A & les perpendiculaires au diamétre qui passent par les points L_1, L_2, &c. représenteront les quarrés des premiers Sinus AL_1, AL_2; puisque AC étant à AL_1, comme AL_1 à AM_1, le quarré du sinus total AC est au quarré du sinus AL_1 comme AC est à AM_1. Par la même raison les parties CM_1, CM_2 représentent les quarrés des sinus de complement CL_1, CL_2, &c. Fig. 80.

Cela supofé, il n'y a qu'à porter depuis A jusqu'en O perpeudiculairement à CA l'espace AO pour représenter l'impulsion directe que souffre la prouë entiere, lorsque l'obliquité de la route est nulle; & tirant la droite CO, on aura en M_1P_1, en M_2P_2, &c. les premieres parties de l'impulsion que souffre la prouë entiere selon l'axe, dans les routes de toutes les diverses obliquités: on aura les premieres parties qui sont proportionelles aux quarrés CM_1, CM_2, &c. des sinus complement des angles de déviation. Les secondes parties P_1R_1, P_2R_2 de ces mêmes impulsions, qu'il faut ajouter aux premieres, seront proportionelles aux quarrés AM_1, AM_2, &c. des sinus mêmes des obliquités des routes : ainsi elles seront interceptées entre la droite OC & une autre droite OQ: & par conséquent les impulsions entieres seront représentées par les lignes entieres M_1R_1, M_2R_2, &c. interceptées entre l'axe AC & la droite OQ. Si le fluide en venant choquer la prouë suit la direction HC ou des paralleles à cette ligne, l'impulsion selon la détermination directe de l'axe, sera représentée par DS qui passe par l'intersection B de la direction CH & du demi-cercle ABC. Si le fluide suit la direction X_2C ou X_1C, l'impulsion sera représentée par M_2R_2 ou M_1R_1 : & enfin si le fluide se meut selon l'axe même AC, l'impulsion sera exprimée par AO; la seconde partie P_1R_1 qui est proportionelle au quarré du sinus de l'obliquité de la route, disparoissant dans ce cas.

Ce qu'il y a de particulier en tout ceci, c'est que gé-

Digitized by Google

Fig. 80. néralement toutes les surfaces courbes, aussi-tôt que leurs deux moitiés sont parfaitement égales de part & d'autre de leur axe, ont ainsi une ligne droite OQ pour *limitatrice* de toutes les impulsions qu'elles reçoivent dans le sens de leur axe, lorsque le fluide change de direction: & on reconnoît aisément que ce doit être la même chose à l'égard de l'impulsion relative qui s'exerce de bas en haut dans la détermination verticale. Cet ordre s'observe à l'égard même des surfaces qui ne suivent aucun ordre dans l'arrangement de leurs parties. La surface qui reçoit le choc peut non-seulement être mécanique, dans le sens que l'entendent ordinairement les Géométres, mais ne garder aucune loi dans sa courbure; il semble qu'une pareille surface, quoique ses deux moitiés soient égales, ne doit avoir aucune proprieté soumise aux regles de la géométrie, par la raison qu'elle-même en est affranchie; mais cela n'empêchera pas que les impulsions qu'elle recevra, ne suivent l'ordre que nous venons de marquer. Ainsi on voit qu'il suffit de connoître ces impulsions pour deux cas différens, pour le cas de la route directe & d'une seule route oblique, pour qu'on soit en état de les découvrir pour toutes les autres. On voit aussi que leurs excès sur AO qui représente l'impulsion pour la route directe, sont continuellement proportionels aux parties AM1, AM2, &c. de l'axe AC, lesquelles representent les quarrés des sinus des obliquités des routes: ce qui justifie pleinement l'analogie que nous avons prescrite dans le Chapitre précédent à la fin du num. 1. article II.

IV.

Il suffit même souvent de connoître l'impulsion relative directe pour le seul cas de la route directe: car si c'est une ligne courbe, dont les deux branches soient égales, qui reçoit le choc, on connoîtra toujours, comme on l'a vû dans le Chapitre IV. l'impulsion DS qu'elle recevra, lorsque le fluide la choquera selon les paralleles à HC avec une obliquité de 45 dégrés. Pour les autres figures, il est

Digitized by Google

aussi très-souvent une certaine obliquité, pour laquelle Fig. 80.
l'impulsion est également connuë : elle est connuë ; parce qu'elle est exactement la même, soit que la surface ait beaucoup de saillie, ou qu'elle en ait peu, ou qu'elle n'en ait point du tout. Nous avons montré, par exemple, dans notre Traité de la Mâture *, que tous les conoïdes qui ont la même base, sans qu'il importe par quelle ligne courbe ils soient formés, ni quelle longueur ait leur axe, éprouvent le même choc direct, lorsque le fluide les frape avec une obliquité d'environ 54 degrés 44′. C'est encore précisément la même chose lorsque la base au lieu d'être un cercle, est un triangle rectangle isocelle : & en général tous les conoïdes qui ont pour base un triangle isocelle quelconque dont le sommet est en bas, reçoivent la même impulsion selon leur axe, lorsque l'obliquité de la route a pour tangente la sécante de la moitié de l'angle d'en bas de la base ; & cette impulsion est exactement égale à celle que recevroit la base même, si elle étoit choquée avec la même obliquité. Lorsque la base sera en particulier un triangle équilatéral, la sécante de la moitié de l'angle d'en bas, sera $n\sqrt{\frac{4}{3}}$ par raport au sinus total n, & prenant $n\sqrt{\frac{4}{3}}$ pour tangente ; on trouvera que l'obliquité de la route doit être d'environ 49 degrés $6\frac{1}{2}'$ pour que tous ces conoïdes, quel que soit d'ailleurs la courbure de leur saillie & la longueur de leur axe, reçoivent précisement la même impulsion les uns que les autres ; & un impulsion égale à celle que recevroit leur base si elle étoit exposée au choc. Or il n'en faut pas davantage pour pouvoir conduire la droite OQ *limitatrice* de toutes les impulsions ; pourvû que connoissant déja l'impulsion AO pour la route directe, on sache le point O d'où doit partir OQ.

* Voyez page 158.

V.

Mais, puisqu'il est une certaine obliquité de route qui rend l'impulsion dans le sens de l'axe exactement la même dans tout un genre de figures, il s'ensuit qu'il y a un point S par lequel passent toutes les *limitatrices* OQ, *oq*, *ωx* des

Fig. 80. impulsions que reçoit chaque figure particuliere. Le Lecteur voit assez que nous comprenons sous un même genre toutes les prouës terminées par un seul trait horisontal, quelle que soit la nature de la courbe qui forme ce trait. Nous regardons comme un autre genre tous les conoïdes circulaires, sans qu'il importe par quelle ligne courbe ils soient formés. Les conoïdes dont la base est un triangle déterminé, constituent autant de différens genres qu'il y a de différens triangles, ce qui en fournit une infinité. Les prouës qui sont faites sur le modéle de la figure 104, dont nous parlerons dans le premier Chapitre de la derniere Section, forment un genre particulier, mais qui se raporte à celui des prouës terminées par un simple trait horisontal; de même que celles qui imitent la figure 108; quelque soit leur base ABA. A l'égard de chacun de ces genres le point S est comme un pole; & les lignes OQ, *oq*, &c. ne prennent diverses situations que parce que la premiere impulsion AO que reçoit chaque prouë dans la route directe, est plus ou moins grande, selon que cette prouë a plus ou moins de saillie.

Une prouë parabolique reçoit une plus grande impulsion Aω; une prouë hyperbolique en reçoit une moindre A*o*, & une prouë formée de deux lignes droites, en reçoit encore une plus petite AO. Mais toutes les droites OQ, *oq*, &c. se coupent en S sur la droite DS qui part du milieu D de AC; parce que toutes ces figures qui sont censées ici du même genre, sont sujettes à la même impulsion, aussi-tôt qu'elles ont la même largeur & que le fluide les choque en suivant une direction HC qui fait avec leur axe un angle de 45 degrés. Ainsi toutes ces prouës se divisent en deux classes bien différentes. Les unes ont moins de saillie, & l'impulsion directe qu'elles reçoivent n'est pas d'abord diminuée de moitié; mais elle va en diminuant lorsque l'obliquité de la route augmente. Les autres au contraire ont plus de saillie, & l'impulsion directe est plus petite que DS; mais cette impulsion va en croissant lorsque la route devient plus obli-

que. Il faut remarquer que si au lieu de lignes courbes, il s'agit de surfaces conoïdales qui ont des triangles ou des cercles pour bases, le point S sera plus proche de CQ; puisque ce n'est pas l'obliquité de 45 degrés, mais celle de 49 degrés 6′, ou de 54 degrés 44′, &c. qui fait que toutes ces surfaces reçoivent la même impulsion dans le sens de l'axe. Fig. 80.

VI.

Il suit de tout cela, que pour certaines surfaces particulieres, la droite OQ *limitatrice* des impulsions doit être parallele à AC; ce qui fait la séparation des deux cas dont nous venons de parler, & en constitue un troisiéme; alors quelque direction que suive le fluide, l'impulsion directe sera toujours la même: il n'importe que la prouë suive une infinité de routes obliques differenres, elle ne sera toujours exposée qu'au même choc selon son axe. C'est ce qui doit arriver à toutes les lignes courbes dont la saillie ou la convexité rend l'impulsion dans la route directe, deux fois moindre que si le fluide frapoit la base même: car alors la premiere impulsion AO sera égale à l'impulsion DS que souffre la courbe, lorsque l'obliquité de la route ou de la direction du fluide est de 45 degrés; & il n'en faut pas davantage pour que OQ & AC soient paralleles & que toutes les impulsions M_1R_1, M_2R_2, &c. deviennent égales. Chaque parabole, chaque hyperbole, &c. fournit un arc qui a cette propriété singuliere: la parabole, par exemple, lorsque son ordonnée de chaque côté, est double de l'arc de cercle qui a le demi paramétre pour rayon, & la même ordonnée pour tangente*. C'est ce qui arrive aussi à la prouë angulaire formée de deux lignes droites, aussitôt que l'angle qui lui sert de pointe est exactement droit; il n'importe ensuite que le fluide choque cette prouë ou selon une direction parallele à son axe, ou selon une ligne oblique quelconque, l'impulsion directe est exactement la même.

* Voyez l'art. 3. du Chap. 3. de cette présente Sect.

Tous les cones, tous les conoïdes parfaits, lorsqu'ils

Fig. 80. ſont choqués avec une obliquité de 54 degrés 44′, ne reçoivent que le tiers de l'impulſion directe que recevroit leur baſe, ſi elle étoit frapée perpendiculairement. Ainſi toutes les fois que la ſaillie ou la convexité d'une ſurface conoïdale rend dans le choc direct l'impulſion trois fois moindre, cette ſurface doit éprouver préciſément la même impulſion directe dans toutes les routes, ſans que les diverſes obliquités du choc y aportent aucune augmentation ou diminution; car alors AO = DS, & OQ doit être parallele à AC. Toutes les eſpeces de lignes courbes qui forment un conoïde par leur révolution autour de leur axe, nous offrent de ces ſurfaces. On peut en trouver une infinité dans le ſeul conoïde formé par la révolution d'un arc de cercle, dont nous avons parlé dans l'art. II. du Chap. V. & tel eſt auſſi, par exemple, le cone dont l'angle total au ſommet, eſt d'environ 70 degrés 32′, ou dont le diamétre de la baſe eſt à la hauteur, comme la diagonale du quarré eſt à ſon côté, ou comme 141 eſt à environ 100. Ce cone reçoit toujours la même impulſion dans le ſens de ſon axe, quelque ſoit la direction du fluide qui le frape.

VII.

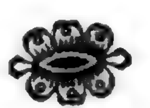
Une autre conſéquence auſſi curieuſe & incomparablement plus importante, qu'on peut tirer du paſſage continuel par le même pole S de toutes les *limitatrices* OQ, *oq*, &c. des impulſions que ſouffrent les figures de même genre: c'eſt que plus la premiere impulſion AO ſera petite, plus les autres impulſions M_1R_1, M_2R_2, &c. que recevra la même figure dans les autres routes, le ſeront auſſi: & ſi l'impulſion AO eſt un *minimum*, les autres impulſions M_1R_1, M_2R_2 le ſeront également. Il ſuffit par conſéquent que la courbe ou que la ſurface qui eſt expoſée au choc du fluide, reçoive la moindre impulſion dans la route directe, pour qu'elle reçoive auſſi la moindre impulſion dans les routes obliques. Cependant cet avantage doit ſe perdre à la fin; il ſe perd lorſque l'obliquité eſt aſſez grande, pour que

l'impulſion ſoit repréſentée par DS, puis qu'alors toutes les figures de même genre reçoivent préciſément la même impulſion, ſans qu'il y ait de diſtinction entr'elles. Fig. 80.

Une particularité qui eſt encore très-digne de remarque, c'eſt que ſi la route devient encore plus oblique, l'impulſion qui étoit auparavant un *minimum* deviendra un *maximum:* car plus AO eſt petite, plus les lignes comme M_3R_3 au-delà du pole S, doivent être grandes. Ainſi l'avantage dont jouiſſoit la courbe ou la ſurface conoïdale pendant que l'obliquité de la route étoit moindre que 45 degrés ou que 49 degrés $6\frac{1}{2}'$, ou 54 degrés 44′, ſe change ou ſe pervertit enſuite en deſavantage; la ſurface reçoit plus d'impulſion dans le ſens de ſon axe, que toutes autres courbes ou ſurfaces imaginables, & devient la moins propre de toutes, pour former la partie antérieure de la carène. Si au contraire l'impulſion dans la route directe, étoit un *plus grand*, elle ſe changeroit en un *minimum* par la même raiſon dans les routes très-obliques. Supoſé donc qu'une ſurface fût deſtinée à n'être choquée que très-obliquement par un fluide, & qu'on voulut qu'elle ne reçût que la moindre impulſion poſſible ſelon la détermination de ſon axe, il faudroit néceſſairement rendre plane cette ſurface.

Au ſurplus, ce ſont non-ſeulement les impulſions que ſouffre la ſurface entiere de la prouë, qui étant des *minimum* juſqu'à un certain terme, paſſent enſuite du moindre au plus grand; ce ſont auſſi les impulſions ſur chaque moitié. Nous ferions voir aſſez aiſément, s'il en étoit beſoin, que ces impulſions particulieres ſur chaque moitié d'une prouë quelconque, ont pour *limitatrices*, non pas des lignes droites, mais des arcs d'ellipſes, dont il n'eſt queſtion par conſéquent, pour déterminer l'obliquité qui fait la ſéparation du *minimum* & du *maximum*, que de découvrir les points d'interſection. Mais enfin *toute ſurface qui éprouve la moindre impulſion, lorſqu'elle eſt choquée ſelon une certaine ligne, jouit encore de la même proprieté, quoique le choc ſe faſſe ſelon une direction très-différente;* de ſorte que le *minimum* étend toujours ſon regne fort loin, & il en eſt de même du *maximum*.

Fig. 80. Ainsi, sans se mettre en peine des autres cas ni sans entrer dans la longue discussion qu'exige l'examen particulier des routes obliques, il suffira toujours, lorsqu'on voudra donner une figure plus parfaite à la prouë, de chercher celle qui éprouve la moindre résistance dans la seule route directe. Il est certain que l'obliquité des routes ne va jamais jusqu'à 45 degrés, ou jusqu'à 54 degrés 44′, pour faire perdre l'avantage qu'avoit la figure, & encore moins pour le faire changer en desavantage. J'avois déja prouvé cette vérité à *posteriori* dans un Mémoire communiqué à l'Académie des Sciences en 1733. Lorsqu'une surface plane exactement circulaire est exposée perpendiculairement au choc d'un fluide, on connoissoit depuis long-tems la nature du conoïde dont il faloit la couvrir, pour que l'impulsion fût la moindre qu'il est possible : Mais cette solution étoit limitée aux seuls conoïdes parfaits ; & il y avoit outre cela lieu de croire qu'elle ne devoit pas être la même lorsque la direction du fluide étoit oblique. Pour éclaircir ce doute qui avoit entraîné des Géométres fameux, j'attribuai non-seulement à la base une figure quelconque, je suposai que le cours du fluide se faisoit obliquement ; & je fus recompensé de mes recherches, en aprenant que si le conoïde *de moindre résistance* est différent pour les différentes bases, il est absolument le même, pour les routes obliques que pour celle qui se fait selon l'axe. Maintenant que nous avons démontré la même chose d'une maniere directe, nous sommes encore plus en droit de nous épargner la plus grande partie de la difficulté qu'on trouve dans l'examen des diverses figures : nous n'avons à discuter leurs proprietés que pour le seul cas de la route directe.



CHAPITRE

CHAPITRE VIII.

Suite du Chapitre précédent, dans laquelle on examine les changemens particuliers que souffre l'impulsion latérale, lorsque le fluide change de direction.

I.

IL n'a point été question jusqu'à présent de l'impulsion latérale, ou de l'impulsion qui se fait dans la détermination horisontale perpendiculaire à l'axe. Nous allons nous en occuper actuellement & tâcher de découvrir d'abord la loi qu'elle suit dans ses changemens. Nous avons vû que VX (Fig. 79.) étant la direction du fluide dont l'obliquité, par raport à l'axe de la prouë ou à la quille, est marquée par l'angle KVX, le quarré du sinus de l'obliquité de la direction du fluide par raport à la petite partie VG de la surface de la prouë, est $\overline{RM}^2 + 2RM \times NL + \overline{NL}^2$; pendant que le quarré du sinus de l'obliquité par raport à la partie correspondante de VG de l'autre côté de la prouë, est $\overline{RM}^2 - 2RM \times NL + \overline{NL}^2$. Nous pouvons toujours nous borner à ne considerer que ces seuls quarrés; puis qu'en les multipliant par le quarré du sinus de l'inclinaison de chaque partie & par l'étenduë de la projection sur VK ou sur un plan vertical parallele à la quille, cette multiplication n'influeroit en rien sur le raport qu'ils suivent dans leur changement, lorsque l'obliquité de la route augmente ou diminue. Fig. 79.

J'ôte le second quarré du premier; parce que les impulsions latérales que souffrent les deux moitiés de la prouë étant contraires, la plus foible détruit une partie de la plus forte, & il me reste $4RM \times NL$, qui doit donc être continuellement proportionel à l'impulsion latérale que souf-

Digitized by Google

Fig. 79. frent toutes les parties de la prouë considerées deux à deux. L'impulsion latérale que souffre la prouë entiere, change par conséquent dans le même raport; c'est-à-dire qu'elle change comme le rectangle du sinus de l'obliquité de la route par son sinus de complement; puisque NL a toujours, nous le répétons, un raport constant dans chaque petite partie de la surface de la prouë avec le sinus ML de l'obliquité de la route, & RM avec le sinus de complement VM de la même obliquité. Le sinus ML est nul, & NL l'est aussi dans la route directe; ce qui rend nul aussi-bien le rectangle VM × ML, que le rectangle 4RM × NL; & l'impulsion latérale est aussi nulle: mais à mesure que l'obliquité de la route augmente, l'un & l'autre rectangle devient plus grand & dans le même raport, jusqu'à ce que l'obliquité soit de 45 degrés. Alors ils sont parvenus l'un & l'autre au terme de leur *maximum*, comme il est facile de le démontrer: après cela ils diminuent. L'impulsion latérale qui suit le même raport doit donc augmenter jusqu'au même terme, & diminuer ensuite par les mêmes degrés qu'elle avoit augmenté; & cela doit arriver généralement dans les prouës de toutes sortes de figures, aussi-tôt que le choc se fait toujours sur la même surface.

II.

Cette loi qu'observe l'impulsion latérale, lorsqu'elle change par l'obliquité de la route, étant reconnue, il est facile d'en conclure que la direction de l'impulsion totale ou absolue que souffre toute la prouë, passe continuellement par le même point de l'axe de la carène; & c'est ce qu'il est peut-être aussi important de sçavoir, que la loi-même que suit l'impulsion latérale. Si on considére deux à deux les parties correspondantes E*e*, E*e* (Fig. 74.) de la surface de la prouë, on sçait que les impulsions absolues ausquelles elles sont sujettes, s'exercent sur deux perpendiculaires à la surface, qui viennent se rencontrer dans le même point M de l'axe AC. On peut décomposer ces im-

Fig. 71.

pulsions dans ce point ; & les résoudre en impulsions relatives directes, & en impulsions relatives latérales. Toutes les impulsions relatives directes en conséquence de cette décomposition, se réuniront dans l'axe même AC qui leur servira de direction commune, & les impulsions latérales, celles d'un côté l'emportant sur celles de l'autre, se trouveront appliquées tout le long de l'axe sur une infinité de perpendiculaires MN. Mais qu'on y fasse maintenant attention ; le changement d'obliquité de la route, ou le changement des directions du fluide ne fera point changer les points M de place ; & en second lieu, si les impulsions latérales qui s'exercent sur les lignes MN, augmentent ou diminuent, elles le feront toutes proportionellement, puisqu'elles changent toutes en même tems comme le rectangle du sinus de l'obliquité de la route par son sinus de complement.

Ainsi si on réunit, ou si on compose toutes ces impulsions relatives pour avoir l'impulsion latérale totale, cette derniere impulsion, quoique le Navire embrasse des routes plus ou moins obliques, ne pourra pas manquer de s'exercer toujours sur la même direction ; de s'exercer sur une ligne appliquée constamment au même point de l'axe. Car que plusieurs puissances augmentent ou diminuent, aussitôt qu'elles le font toutes proportionellement, & qu'elles s'exercent toujours sur les mêmes directions particulieres, leur direction composée ou mutuelle ne doit pas changer. Or il suit de-là que lorsqu'on composera en dernier lieu l'impulsion latérale totale, avec l'impulsion directe totale, pour avoir l'impulsion absolue ou l'impulsion formée de toutes les autres impulsions, on trouvera une direction qui passera encore par le même point ; puisqu'elle partira de l'intersection de l'axe & de la direction de l'impulsion latérale. J'avois déja prouvé dans le Traité de la Mâture des Vaisseaux, cette proprieté qu'ont les prouës de toutes les figures ; mais la démonstration que j'en avois donnée, étoit non-seulement plus longue, elle étoit plus dépendante du calcul.

Fig. 79.

III.

Pour comparer maintenant les impulsions latérales aux impulsions directes, nous n'avons qu'à nous ressouvenir que ces dernieres sont exprimées dans la figure 79 par $2\times\overline{RM}^2\times GK+2\times\overline{NL}^2\times GK$, & que si on multiplie le rectangle $4\times RM\times NL$, ou la difference des deux quarrés de SL & de fl par KV, qui est la projection de la partie GV sur le plan perpendiculaire à la direction de l'impulsion latérale, on aura $4\times RM\times NL\times KV$ pour cette impulsion. Il seroit inutile, comme nous l'avons déja dit tant de fois, de considerer l'inclinaison des deux parties correspondantes exposées au choc, lesquelles ne sont pas verticales; puisqu'en multipliant également les deux quantités $2\times\overline{RM}^2\times GK+2\times\overline{NL}^2\times GK$, & $4\times RM\times NL\times KV$ par le quarré du sinus de l'inclinaison, on n'en changeroit pas le raport. Or si on compare le second terme de la premiere quantité avec la seconde, on verra que ces deux grandeurs sont comme $NL\times GK$ est à $2\times RM\times KV$: c'est-à-dire que $NL\times GK$ & $2\times RM\times KV$, expriment le raport qu'il y a entre la partie de l'impulsion relative directe qui change comme le quarré du sinus de l'obliquité de la route & l'impulsion latérale. Mais le raport demeurera le même, si on multiplie les deux termes par GV; on aura $GV\times NL\times GK$ & $2\times GV\times RM\times KV$; & il ne changera point encore si on les divise par $GK\times KV$; ce qui donnera $\frac{GV\times NL}{KV}$ & $\frac{2\times GV\times RM}{GK}$. Ainsi la seconde partie de l'impulsion directe qui change comme le quarré du sinus de l'obliquité de la route, est à l'impulsion latérale, comme $\frac{GV\times NL}{KV}$ est à $\frac{2\times GV\times RM}{GK}$; & enfin si on met à la place de ces deux dernieres quantités, les lignes ML & 2MV qui leur sont égales, on reconnoîtra que la seconde partie de l'impulsion directe est à l'impulsion latérale, comme le sinus ML de l'obliquité de la route est au double du sinus

de complement MV, ou comme la tangente KX de cette même obliquité eſt au double du ſinus total KV. Fig. 79.

La ſeconde partie de l'impulſion directe dont il s'agit ici, eſt repréſentée par les eſpaces P1 R1, P2 R2, &c. dans la figure 80: de ſorte qu'il eſt toujours très-facile de ſoumettre au calcul l'impulſion latérale, & de la déduire de l'impulſion directe. Cette derniere étant connue pour une certaine route; qu'on la connoiſſe, par exemple, pour la route dont l'angle ACX2 marque l'obliquité, il n'y aura qu'à en retrancher la premiere partie M2P2, qu'on trouvera par cette analogie; CA eſt à CM2, ou le quarré du ſinus total eſt au quarré du ſinus complement de l'obliquité de la route propoſée, comme l'impulſion AO que ſouffre la prouë dans la route directe eſt à M2P2. Cette quantité M2P2 étant ôtée de M2R2, on aura la ſeconde partie P2R2; & il ne reſtera plus qu'à faire cette autre analogie: Le ſinus de l'obliquité de la route propoſée eſt au double du ſinus de complement de cette même obliquité, comme P2R2 ſera à l'impulſion latérale qu'on demandoit. Lorſque l'obliquité de la route ſera de 45 degrés, le ſinus de cette obliquité & le ſinus de ſon complement ſeront égaux. Ainſi l'impulſion latérale ſera double de TS ou égale à CQ; ce qui nous apprend cette vérité remarquable, que pendant qu'une des extrémités O de la *limitatrice* OQ des impulſions directes eſt éloignée de l'axe AC de la quantité AO qui exprime la premiere impulſion directe, l'autre extrémité Q en eſt éloignée de la diſtance CQ qui exprime la plus grande impulſion latérale. On voit donc auſſi que lorſque les impulſions directes, AO, M1R1, M2R2, &c. que reçoit la prouë dans toutes les routes, ſont égales entr'elles; elles ſont auſſi égales à la plus grande impulſion latérale que ſouffre la prouë dans la route oblique de 45 degrez. Fig. 80.

IV.

Si on veut réſumer & ſe mettre ſous les yeux la plûpart des choſes que nous venons d'établir, on n'aura qu'à pren-

Fig. 80. dre n pour ſinus total, s pour le ſinus de l'obliquité de la route, & σ pour le ſinus de complement, & nommant A la valeur de AO ou de l'impulſion ſelon l'axe que ſouffre la prouë dans la route directe, & B la valeur de CQ, ou de l'impulſion latérale que ſouffre la prouë dans la route oblique de 45 degrez, on aura $\frac{\sigma^2}{n^2}$ A pour la premiere partie M1R1, ou M2R2 de l'impulſion directe, pour celle qui eſt proportionelle au quarré du ſinus de complement σ de l'obliquité de la route, & $\frac{s^2}{n^2}$ B pour la ſeconde partie P1R1, ou P2R2 qui eſt proportionelle au quarré du ſinus s. L'impulſion directe entiere M1R1 ou M2R2 ſera par conſéquent repréſentée par $\frac{\sigma^2}{n^2}A + \frac{s^2}{n^2}B$; & ſi on fait l'analogie preſcrite ci-deſſus $s \mid 2\sigma \parallel \frac{s^2}{n^2}B \mid \frac{2s\sigma}{n^2}B$ on aura $\frac{2s\sigma}{n^2}B$ pour l'impulſion latérale. Ainſi les deux impulſions relatives, ſelon le ſens de l'axe & ſelon le ſens perpendiculaire à l'axe, ſeront exprimées d'une maniere très-ſimple: la premiere le ſera toujours par $\frac{\sigma^2}{n^2}A + \frac{s^2}{n^2}B$; & la ſeconde par $\frac{2s\sigma}{n^2}B$; & cela pour les prouës de toutes les figures & pour toutes les routes.

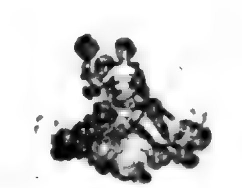
V.

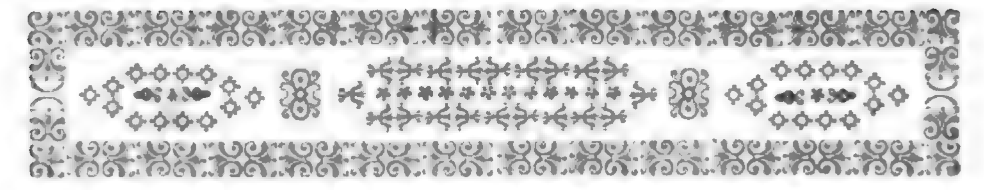
Enfin nous terminerons ces remarques par une derniere obſervation, qui n'eſt pas moins conſidérable que les précédentes, & qui en eſt un Corollaire. Il eſt évident que puiſque l'impulſion latérale pour chaque route a un raport déterminé avec la ſeconde partie P1R1 ou P2R2 de l'impulſion directe; plus cette ſeconde partie ſera grande, plus l'impulſion latérale le ſera auſſi. Or la ſeconde partie de l'impulſion directe n'eſt jamais plus grande que lorſque la premiere l'eſt moins; ou que lorſque l'impulſion directe AO, pour le cas où l'obliquité de la route eſt nulle, eſt un *minimum*. Car AO étant un *moindre*, CQ qui eſt égale

Digitized by Google

à la plus grande impulsion latérale, eſt un *plus grand*; & toutes les ſecondes parties P_1R_1, P_2R_2 de l'impulſion directe, ou ce qui revient au même, toutes les impulſions latérales doivent ſe reſſentir de la grandeur de CQ. Fig. 80.

Il ſe trouve par conſéquent un double avantage à donner à la prouë la figure qui éprouve la moindre réſiſtance de la part du milieu dans lequel elle ſe meut. Car cette proprieté entraîne néceſſairement l'autre, que l'impulſion latérale eſt la plus grande qu'il ſe peut. Ainſi le Navire ſinglant plus vite, dérivera le moins qu'il ſe pourra, non-ſeulement à cauſe de la petiteſſe de l'impulſion directe; mais parce que l'impulſion latérale réellement plus grande, s'opoſera davantage, & le plus qu'il ſera poſſible, à l'effort du vent qui pouſſe le Navire de côté & qui eſt la cauſe de ſa déviation dans les routes obliques. C'eſt donc encore une proprieté dont jouiſſoit ſans que nous le ſçuſſions, la prouë qui éprouve la moindre réſiſtance dans la route directe: elle éprouve non-ſeulement la moindre réſiſtance dans toutes les autres routes; *elle eſt auſſi la prouë de la moindre déviation ou de la moindre dérive*: & on conviendra ſans peine que cette proprieté eſt beaucoup plus importante que l'autre. Il arrive tous les jours que des Navires qui navigent proche de terre, ne ſe perdent faute de doubler un cap, ou de s'élever d'une côte où ils ſont abatus, que parce qu'ils ſont ſujets à une trop grande dérive: au lieu que la lenteur de leur marche ne fut jamais la cauſe prochaine ou immédiate de leur naufrage.





SECONDE SECTION.

Où l'on tente la solution générale des principaux Problêmes de Manœuvre.

NOUS nous trouvons naturellement conduits par toutes les recherches précédentes à la partie même intérieure de la Manœuvre des Vaisseaux, que nous pourrions nous dispenser d'examiner; mais dont nous allons resoudre les principaux Problêmes, afin de saisir l'occasion qui se présente d'éclaircir en peu de mots cette partie si difficile de la Marine. On est tenté de croire en lisant l'essai de Manœuvre du célébre M. Bernoulli, & en voyant tous les embarras dont ce sujet épineux est environné, qu'il n'est pas possible de trouver de régles générales ou universelles qu'on puisse apliquer indistinctement à tous les Navires; & qu'il faut pour chacun se résoudre toujours à commencer un nouvel examen & à discuter dans le plus grand détail la figure particuliere de sa carène. Le Géométre rebuté d'un travail qui n'a pas de fin, ne peut pas s'empêcher de regreter après cela la simplicité des regles de M. le Chevalier Renau; & peu s'en faut qu'il ne les préfere, quoiqu'il soit convaincu de leur imperfection qui n'est que trop bien prouvée. Mais ce ne sera plus la même chose, aussi-tôt qu'on partira des remarques que nous venons de faire: elles nous mettront non-seulement en état de vaincre tous les obstacles qui se sont présentés jusqu'à présent, lorsqu'on a cherché des solutions générales des Problêmes dont il s'agit; nous ne serons point obligés de négliger la considération des différentes vitesses relatives du vent qui changent par le mouvement du Navire, & qui ne sont pas moins

moins naître de singularités curieuses dans cette matiere, qu'elles contribuent à la rendre plus difficile.

CHAPITRE PREMIER.

De la vitesse que prend le Vaisseau par rapport à celle du Vent.

NOUS commencerons par la discussion de cette premiere question, dont le Pilotage, la Manœuvre, & l'Architecture navale peuvent tirer de grandes utilités, & dont personne cependant ne cherchoit la solution. On suposoit tous les jours que la vitesse que recevoit le Navire étoit comme infiniment petite, ou au moins comme insensible par raport à celle du vent; & bien loin de distinguer les cas qui exigent plus d'exactitude, on partoit continuellement de cette suposition gratuite, sans sçavoir s'il est une seule occasion où elle puisse être admise légitimement. M. d'Ons-en-Bray est le premier, à ce que je crois, qui méditant la Machine dont nous avons parlé dans le second Chapitre de l'autre Section, a senti que la chose méritoit d'être mise en déliberation, & qui en a fait un sujet de question. Elle me fut proposée en 1729, lorsque j'étois au Croisic, par feu M. de Valincourt, Secretaire Général de la Marine. Comme l'écrit qui me fut remis ne contenoit pas une proposition formelle du Problême, on pouvoit aisément se méprendre sur l'intention secrete de l'Auteur: M. d'Ons-en-Bray vouloit, à ce qu'il me parut, se reserver le plaisir de resoudre lui-même la question; il se contentoit de demander des expériences, qui ne pouvoient se faire que sur le bord de la Mer, lesquelles devoient lui servir de principes ou d'élemens. Je fis ces expériences, & je ne pouvois pas y manquer: mais je tentai en même tems une solution directe du Probleme, en employant en partie les régles exposées dans la Section précédente. C'est

de cette ſeule ſolution, parce qu'elle eſt toute de moi, mais qu'il n'y avoit pas ſans doute beaucoup de mérite à imaginer, dont je vais ici rendre compte.

I.

Je conſiderai un Vaiſſeau de 163 pieds de longueur de l'étrave à l'étambot, & de 44 pieds 9 pouces de largeur en dehors de ſes membres; & je trouvai l'étenduë de la coupe verticale de ſa carène faite perpendiculairement à ſa quille, d'environ 691 pieds quarrés. C'eſt cette coupe qui recevroit le choc de l'eau pendant le ſillage ſi la prouë n'avoit aucune ſaillie & ſi elle étoit terminée par un plan vertical: au lieu que la figure convexe eſt cauſe qu'on ne doit pas regarder ces 691 pieds comme ſujets à l'impulſion de l'eau. Il eſt donc d'abord queſtion de découvrir la reduction qu'il faut faire à cette ſurface, & c'eſt en cela que conſiſte la plus grande difficulté du Problême. Si la prouë des Vaiſſeaux avoit la figure qui éprouve la moindre réſiſtance avec le même axe & la même groſſeur qu'elle a ordinairement, ſa ſaillie rendroit alors l'impulſion environ douze fois moindre, comme on peut le verifier aiſément. Nous avons vû dans le Chapitre V. de la Section précédente; qu'un cone dont l'axe eſt triple du rayon de ſa baſe, reçoit déja une impulſion dix fois plus petite que ſi l'eau frapoit perpendiculairement ſa baſe même; & il faut remarquer que le conoïde de moindre réſiſtance qui a les mêmes dimenſions, reçoit une impulſion encore moindre d'environ une cinquiéme partie. Mais il s'en faut beaucoup que nos Conſtructeurs ayent atteint cette figure dont ils ſont reſtés extrémement éloignés. En examinant un petit Navire du Croiſic nommé *le S. Pierre* *, je trouvai que la convexité de ſa prouë ne rendoit le choc de l'eau qu'environ ſix fois & demi plus petit que ſi la prouë eût été formée par un plan vertical. Ce plan meſuré avec ſoin étoit de 6687 pouces quarrés, & l'impulſion qu'il eût reçû eût été exprimée par 66870000, au lieu qu'en partageant la ſurface de la prouë en 18 triangles qui ſe trou-

* Voyez le Traité de la Mâture pag. 137 & ſuiv.

voient ſenſiblement de petites ſurfaces planes, & en cherchant les impulſions particulieres que ſouffrent toutes ces ſurfaces, l'impulſion totale étoit repréſentée par 10245735 qui eſt à très-peu près $6\frac{1}{2}$ fois moindre que 66870000. Je penſois que dans les Vaiſſeaux de guerre, il ſe faiſoit encore une plus grande diminution, & qu'il falloit réduire à une neuviéme partie ou à 77 pieds les 691 pieds quarrés de la coupe verticale de la carène faite perpendiculairement à la quille du Vaiſſeau du premier rang dont il s'agit. Mais ayant eu occaſion depuis de viſiter nos Ports & de reconnoître par moi-même la forme des plus grands Navires, j'ai été forcé de reconnoître que l'impulſion qu'ils ſouffroient n'étoit qu'environ quatre fois, ou tout au plus quatre fois & demie plus petite que ſi leur prouë eût été terminée par un plan vertical. Cette extrême différence qui eſt quelquefois encore plus grande entre la figure actuelle des plus grands Navires, & celle du conoïde qui éprouve la moindre réſiſtance, vient de ce que la groſſeur du conoïde commence à diminuer dès ſon origine, ou en partant de la premiere coupe qui lui ſert de baſe; au lieu que celle qu'on donne actuellement aux Vaiſſeaux, ſe conſerve dans un très-grand eſpace & diminue enſuite tout à coup; ce qui produit le même effet que ſi la prouë étoit beaucoup plus courte, ou avoit moins de ſaillie. Enfin l'étenduë de la coupe verticale de la carène faite perpendiculairement à la quille étant de 691 pieds quarrés, on ne doit, je penſe, la réduire généralement à cauſe de la convexité & de la ſaillie de la prouë, vû l'état actuel des choſes, qu'à environ 150 pieds, que nous prendrons donc pour *l'expoſant* ou pour *l'argument* de l'impulſion relative directe.

II.

Il faut maintenant conſiderer l'effort du vent ſur les voiles. La ſurface des trois du grand mât devoit être d'environ 10316 pieds quarrés: & comme on peut, en préſentant un peu le flanc au vent, faire enſorte qu'une grande partie des voiles du mât de miſaine ait part à l'impulſion,

ſans qu'il y ait de diminution conſidérable par le changement de l'angle d'incidence, ni que la réſiſtance que ſouffre la prouë de la part de l'eau, devienne auſſi plus grande par l'obliquité de la route, on doit augmenter d'environ de moitié les 10316 pieds quarrés, & on aura 15474 pieds pour la ſurface totale des voiles qui *portent*, ou qui reçoivent le choc du vent. Or l'impulſion que ſouffrent ces 15474 pieds doit être égale, comme on l'a vû dans le premier Chapitre de l'autre Section, à l'impulſion de l'eau ſur les 150 pieds quarrés de ſurface, auſquels ſe réduit la prouë. D'ailleurs ces impulſions dépendent des denſités des deux fluides: car ſi toutes les autres choſes étant égales, un fluide eſt deux ou trois fois plus denſe, ou d'une peſanteur ſpécifique deux ou trois fois plus grande, ſon choc ſera deux ou trois fois plus fort. Le mercure avec la même viteſſe fait, par exemple, 14 fois plus d'impulſion que l'eau ſur la même ſurface; parce qu'il eſt 14 fois plus peſant: & l'eau par la même raiſon fait 576 fois plus d'impreſſion que le vent, lorſque l'air eſt dans ce degré précis de condenſation où l'a obſervé M. Mariote, qui le rend 576 fois moins peſant que l'eau. On ſçait enfin que les impulſions ſuivent la raiſon doublée des viteſſes, ou ſont proportionelles à leurs quarrés. Tout cela étant admis, ſi nous déſignons la viteſſe du Navire par 100, nous aurons pour l'expreſſion du choc de l'eau ſur la prouë 864000000, qui eſt le produit de 150 pieds quarrés par la denſité de l'eau 576, & par le quarré 10000 de la viteſſe du ſillage. Or cette impulſion encore une fois doit être égale à celle du vent ſur les voiles, ou au produit de leur étendue 15474 pieds quarrés par la denſité 1 de l'air, & par le quarré de la viteſſe reſpective du vent. Ainſi ſi on diviſe l'impulſion 864000000 de l'eau par l'étendue 15474 des voiles, & par la denſité 1 de l'air, il viendra au quotient le quarré de la viteſſe du vent. On trouve 55835 pour ce quarré, dont la racine eſt environ 236, & il ne reſte plus qu'à conſiderer que comme ce nombre ne repréſente que la

vitesse respective, ou que la vitesse avec laquelle les voiles sont frapées, on doit l'augmenter de toute la vitesse particuliere du Vaisseau. Il viendra donc 336 pour la vitesse totale ou absolue du vent: ce qui nous apprend que cette vitesse & celle du sillage sont sensiblement comme 336 est à 100., ou que l'une n'est pas tout-âfait le tiers de l'autre.

Il faut remarquer que si au lieu de suposer que l'eau est 576 fois plus pesante que l'air, on la supose 1100 fois, on trouveroit que la vitesse du Navire est à celle du vent, non pas comme 100 est à 336; mais comme 100 est à 419. Nous déférerons un peu à l'une & à l'autre de ces déterminations; parce que 576 & 1100 comparé à l'unité, sont à peu près comme les limites du raport qu'il y a entre la densité de l'eau & celle de l'air. Mais il résulte de tout cela que les Vaisseaux les mieux construits prennent environ les deux septiémes de la vitesse du vent. Lorsque le vent devient deux ou trois fois plus rapide, son impulsion est quatre ou neuf fois plus forte; mais le Navire singlant deux ou trois fois plus vite, la résistance de l'eau contre la prouë devient aussi quatre fois ou neuf fois plus grande, ce qui maintient l'équilibre.

III

Ce qu'on vient de dire ne convient qu'aux Vaisseaux qui singlent le mieux, & qui approchent de la figure des Frégates: car s'il s'agissoit de Flutes Hollandoises, ou des autres Bâtimens qui sont faits exprès pour porter une grande charge, la convexité de leur prouë ne seroit quelquefois gueres plus grande que celle d'un Hémisphere *, elle ne rendroit l'impulsion que deux fois ou deux fois & demie plus petite que si la prouë étoit terminée par un plan vertical. On peut chercher par le même procedé leur vitesse par raport à celle du vent, & on verra qu'au lieu d'en être les deux septiémes comme dans les Vaisseaux qui singlent le mieux, elle n'en est qu'environ la

* Voyez le Chap. V. de la Sect. précédente art. 2. à la fin du n. 2.

cinquiéme partie. C'est par conséquent entre ces deux limites qui sont l'une à l'autre dans le raport de 7 à 10 que se trouve la vitesse de la plûpart de nos Vaisseaux, lorsqu'ils vont vent en poupe ou *vent largue*. Nous avons besoin de mettre cette restriction : car s'ils alloient à *la bouline* ou *au plus près*, en présentant leur prouë vers le vent, & en dérivant de 20 ou 25 degrés, le raport entre leur vitesse changeroit ; & pendant que les uns perdroient par l'obliquité de leur route la moitié de leur marche, les autres en perdroient les deux tiers, dans le tems même que la Mer seroit parfaitement calme, & qu'ils porteroient toutes leurs voiles. Ainsi les meilleurs Voiliers qui vont vent largue, avec les deux septiémes de la vitesse du vent, n'avanceroient alors qu'avec environ la septiéme partie : & les plus mauvais Voiliers qui vont ordinairement avec la cinquiéme partie, n'iroient plus ensuite qu'avec la douziéme ou la quinziéme.

IV.

Enfin comme il ne s'agit dans tout ceci que de raports moyens & déterminés à peu près, il ne faut pas s'attendre de pouvoir les appliquer dans la derniere rigueur à chaque Vaisseau. Il n'est pas même vrai dans l'état où est maintenant la Navigation, que la vitesse du Navire qui fait la même route, soit toujours proportionelle à la vitesse du vent, ou en soit la même partie. Elle le seroit si la mâture étoit bien disposée : au lieu que dans l'état présent des choses, lorsqu'il semble que tout doit contribuer à accélerer le mouvement du Vaisseau, lorsque le vent devient plus rapide, & qu'on donne en même tems beaucoup plus d'étendue aux voiles pour procurer encore une plus grande promptitude au sillage, il arrive souvent que la vitesse bien loin d'augmenter selon les loix assignées par les Régles de Manœuvre qu'on nous a données jusqu'à présent, devient au contraire beaucoup plus petite. C'est que lorsque l'impulsion du vent augmente beaucoup,

le Navire enfonce une plus grande partie de la prouë dans la Mer, trouve plus de résistance à fendre l'eau; & le sillage est quelquefois plus retardé par cet endroit, qu'il n'est acceleré par l'autre. Quoiqu'il en soit, on peut toujours tirer diverses conséquences de notre recherche; & il en résulte entr'autres choses, qu'on doit mettre une grande différence entre la vitesse absoluë du vent & sa vitesse respective par raport au Vaisseau; je ne dis pas pour obtenir une précision rigoureuse & parfaitement géométrique dans divers Problêmes de Marine; mais pour parvenir même à cette exactitude limitée ou aprochée, dont on se contente ordinairement dans les choses de pratique. Cette considération deviendra encore plus nécessaire, losqu'on réformera la figure & la disposition des Vaisseaux sur les régles que nous donnons: car il y a tout lieu de croire, & on peut s'en assurer par un examen semblable à celui que nous venons de faire, qu'ils prendront quelquefois la moitié de la vitesse du vent. Pour en juger tout d'un coup avec facilité, on peut se contenter d'instituer le calcul sur une prouë conique; mais en suposant que le diametre de sa base n'est qu'environ la cinquiéme partie de la longueur totale de la carène.

CHAPITRE II.

Du changement que le mouvement des surfaces produit au choc qu'elles reçoivent.

I.

CETTE attention de plus qu'il faut avoir dans les discussions de Marine qui ont raport au mouvement du sillage consideré physiquement, les rend presque toutes beaucoup plus compliquées; & il n'est néanmoins que trop certain qu'il n'est pas permis d'éluder cette diffiulté. Imaginons-nous que la surface plane DE (Fig. 81.) est trans- Fig. 81.

Fig. 81. portée toujours parallement à elle-même de C en *c*, ou de DE en *de* pendant que le fluide parcourt l'espace CG, & une infinité d'autres lignes paralleles que nous ne pouvons pas marquer: Alors l'impulsion sera diminuée considérablement; parce que le mouvement de la surface fera comme perdre au fluide une partie de sa vitesse; & le choc ne se fera plus qu'avec la vitesse respective. Pour trouver cette vitesse, je prolonge le plan *de* jusqu'à la rencontre en F de la direction VG; l'espace CF sera la partie retranchée de la vitesse du fluide, & FG la vitesse restante: & comme les impulsions des fluides sont comme les quarrés des vitesses, le choc total sur la surface DE sera proportionel au produit du quarré du sinus de l'angle d'incidence VCE par le quarré de la vitesse respective FG. On verra évidemment que c'est CF la partie de la vitesse que le mouvement du plan DE fait perdre au fluide, si l'on imagine que ce plan est assez grand, lorsqu'il est parvenu en *de*, pour s'étendre jusqu'en F, & couper la direction VCG. A l'aide de cette supposition, on se convaincra aisément que le point F du plan ne doit pas être choqué avec toute la vitesse CG du fluide, mais seulement avec la vitesse respective FG; puisque le plan fuit de la quantité CF, & que le fluide ne peut l'atteindre qu'avec l'excès de sa vitesse. Or que le plan soit grand ou petit, c'est précisément la même chose; tous ses points doivent être choqués avec la même vitesse FG.

II.

On peut maintenant reconnoître sans peine qu'il y a trois principaux cas à distinguer, qui naissent & de la situation de la surface, & de la direction selon laquelle la surface est transportée. 1°. Si la surface passe de DE en *de*, ou en *d2 e2*, pendant que le fluide qui se meut selon VG, parvient de C en G; la vitesse respective FG ou F2G avec laquelle le fluide frapera la surface, sera moindre que la vitesse absolue CG. 2°. Si la surface DE se meut dans son

Digitized by Google

ſon propre plan, en venant il n'importe avec quelle viteſſe Fig. 81.
ΔE ou en $\Delta 2\ E 2$; alors quoiqu'il ſemble qu'elle ait du mouvement par raport au fluide, elle n'aura néanmoins aucun progrès réel par raport à lui, puiſqu'elle coupera ſa direction VG toujours dans le même point C; & la viteſſe reſpective ſera donc égale à l'abſolue. Enfin 3°. Si la ſurface DE eſt tranſportée de C en $\varkappa$ ou en $\varkappa 2$, toujours parallelement à elle-même, elle avancera effectivement vers le fluide qu'elle ira rencontrer avec la viteſſe particuliere $C\varphi$ ou $C\varphi 2$; & la viteſſe reſpective φG ou $\varphi 2G$ avec laquelle ſe fera le choc, ſera par conſéquent plus grande que la viteſſe abſolue CG. Ces trois cas ne dépendent ni de la ſituation ſeule de la ſurface, ni auſſi de la direction ſeule de ſon tranſport; mais des deux conjointement. Lorſque la ſurface eſt tranſportée de DE en $d 2\ e 2$, il ſemble qu'elle avance vers le fluide, & cependant elle ſe refuſe en partie à l'impulſion. Lorſqu'au contraire la ſurface eſt tranſportée de DE en $\delta 2\ \epsilon 2$, elle ſemble fuir le fluide; & néanmoins elle en eſt chocquée avec plus de force.

III.

Je ne m'arrête point ici à examiner ſi les trois cas précédens ne peuvent pas ſe ſubdiviſer; j'évite tout détail qui n'apporte pas une nouvelle lumiere. Mais je ne dois pas manquer de remarquer que ſi le plan qui reçoit le choc eſt tellement incliné par raport à la direction du fluide, ou que ſi la viteſſe de ſon tranſport eſt aſſez grande, pour que parvenu de DE en de toujours parallelement à lui-même, & étant cenſé prolongé juſqu'à la direction VG, il la coupe dans le point même G, comme dans la figure 82, la viteſſe reſpective FG du choc ſera alors nulle. Le plan ſe ſouſtraira alors à l'impulſion avec autant de promptitude que le fluide, pour ainſi dire, le pourſuivra; & il traverſeroit ainſi éternellement le fluide, quoiqu'obliquement, ſans en recevoir jamais aucune atteinte. Il faut pour cela qu'il ſe meuve avec le degré précis de viteſſe repréſenté

Fig. 82. par Cc par raport à la vitesse absolue CG du fluide ; car s'il se mouvoit un peu plus vite, le point F passeroit de l'autre côté de G, la vitesse respective GF du fluide deviendroit *négative* ; & ce seroit alors la surface qui reculant trop vite, chocqueroit le fluide qui se trouveroit derriere. Mais aussitôt que le plan *de* étant prolongé, passera précisément par le point G qui termine l'espace parcouru par le fluide, il ne sera exposé à aucun choc ni d'un côté ni de l'autre. S'il ne se meut pas précisément dans le même sens que le fluide, s'il est comme retiré de côté par son transport de C en *c*, son transport latéral joint à sa situation oblique, suffit pour que tous ses points avancent avec autant de promptitude selon la direction CG que les particules mêmes du fluide, & pour qu'ils n'en reçoivent par conséquent aucun choc.

IV.

Entre une infinité de différentes applications dont ces remarques sont susceptibles, nous nous contenterons d'en faire ici une en peu de mots, sur une matiere qui n'est pas de notre sujet, mais qui en se repliant, pour ainsi dire, s'en raprochera. Un grand nombre de Géométres n'ont pas dédaigné d'examiner la disposition la plus parfaite des aîles ou des volans des Moulins à vent, & ils ont trouvé que l'angle formé par l'aîle & par la direction du vent, devoit être de 54 degrés 44′. de même que celui que doit faire le gouvernail avec le prolongement de la quille, pour faire tourner le Vaisseau avec le plus de promptitude qu'il est possible. Il est vrai que si l'on rend trop grand l'angle de l'aîle avec l'axe du Moulin, on augmente l'impulsion du vent, mais que tout l'effort tend alors beaucoup plus à renverser la machine qu'à faire tourner les aîles ; & que si au contraire on donne à ces mêmes aîles trop d'obliquité, il y aura une plus grande partie de l'effort du vent qui travaillera à les faire tourner ; mais que comme l'effort entier ne sera que foible, la partie qui

produira l'effet qu'on demande, le sera encore beaucoup plus. Il y a donc un certain milieu ou un *maximum*, qu'on a tâché de saisir; mais faute d'avoir eu égard au changement que recevoit la vitesse respectve du vent, on a rendu l'examen trop limité pour qu'il pût être d'usage. Comme le corps du Moulin est immobile, & que les volans ne changent de place que dans le sens perpendiculaire au vent, on s'est imaginé que leur vitesse ne retranchoit rien de celle du vent; au lieu qu'elle en retranche une partie très-considerable; elle la retranche quelquefois toute: & pour dire encore plus, cette vitesse latérale des volans, est souvent telle, comme je l'ai remarqué plusieurs fois, que les aîles au lieu d'être choquées par le vent, choquent au contraire par leur extrémité qui a plus de mouvement, l'air qui est derriere, & qui ne se retire pas assez vite; ce qui fait que la voile s'enfle dans le sens contraire. Ainsi la situation qu'on a trouvé que la surface des aîles devoit avoir par raport à l'axe ou à la direction du vent, n'est bonne que pour la partie qui est tout-à-fait proche du centre, parce qu'elle n'a que peu de vitesse; au lieu que les autres parties doivent faire un plus grand angle, à mesure qu'elles sont plus éloignées de l'axe, & il faudroit qu'elles fussent tout-à-fait perpendiculaires au vent, si l'aîle étoit infiniment longue. La surface du volant doit être selon cela fort éloignée d'être plane; toutes ses parties doivent avoir differentes inclinaisons, & les trous des verges par lesquels on fait passer les especes d'échellons qui soutiennent les voiles, ne doivent donc pas être arrangés en lignes droites; ils doivent être arrangés selon une certaine spirale ou Hélice, dont ce n'est pas sans doute ici le lieu de marquer la nature; mais qui a pour asymptote une droite tirée sur la surface de la verge dans le sens précis de sa longueur.

V.

Toutes les fois qu'on regarde ces aîles de Moulin qui choquent par leurs extrémités l'air qui est derriere, on

distingue aisément la partie qui est frapée par le vent, celle qui ne l'est pas, & celle qui l'est, mais dans le sens contraire. Il ne reste plus après cela, qu'à mesurer la vitesse de la partie qui n'est point frapée, cette vitesse est
Fig. 82. représentée dans la figure 82, par l'espace C*c*; à cela près, que C*c* devroit être perpendiculaire à la direction VG du vent; & connoissant d'ailleurs l'angle CG*c* égal à l'inclinaison VCE de l'aîle par raport à l'axe, ou à la direction du vent, on n'aura qu'à résoudre le triangle GC*c* rectangle en C, & le côté CG apprendra qu'elle est la vitesse réelle ou absolue du vent. On pourroit, ce me semble, sur ce principe construire aisément des Anémometres, qui au lieu de marquer la force du vent, en feroient connoître la vitesse; & ces instrumens ne manqueroient pas d'utilit.

CHAPITRE III.

Suite du Chapitre précédent. Des changemens que le mouvement du Vaisseau apporte dans la force & dans la direction apparente du Vent.

I.

POUR appliquer au mouvement des Vaisseaux la plûpart des choses que nous venons de dire, nous nous imaginerons que pendant que le vent parcourt l'espace
Fig 83. & 86. CG (Fig. 83.) sur la direction VG, le Navire AB, dont DE est la voile, passe par le mouvement de son sillage de C en *c*. Il est évident par les raisons exposées ci-devant, que tous les divers points de la voile fuiront par raport au vent, de la quantité CF, & qu'ils ne seront par conséquent frapés que par le surplus FG, dont le vent va plus vite. Le Vaisseau est cependant représenté ici lorsqu'il single *au plus près*, ou *à la bouline*, ou lorsqu'il avance vers

l'origine même du vent. Mais quoique le Navire avance vers le vent, sa voile étant suposée prolongée jusqu'en F, coupe successivement à cause de sa situation, la direction VG dans des points F, dont le progrès se fait dans le même sens que celui des particules d'air, & elle se soustrait d'autant à l'impulsion ; pendant que diverses parties du Vaisseau & qu'une voile dispofée d'une autre maniere, pourront être choquées avec plus de vitesse. Suposé donc que le vent parcoure l'espace CG de 50 pieds par secondes, & fasse sur un pied quarré de surface une force de 6 livres ; des voiles de 15474 pieds d'étendue, comme celles que nous avons considerées dans le premier Chapitre, étant frapées perpendiculairement, recevroient une impulsion de 92844 livres. Mais si l'angle d'incidence VCE est d'environ $19\frac{1}{2}$ degrés, dont le sinus est le tiers du sinus total, l'impulsion sera diminuée neuf fois par ce seul endroit ; & si la vitesse respective FG n'est que de 25 pieds, moitié de la vitesse absolue CG, l'impulsion sera encore diminuée quatre fois, & sera par conséquent 36 fois moindre, ou seulement de $3863\frac{1}{2}$ livres. Or cette impulsion est à la premiere 92844, comme le produit du quarré du sinus de $19\frac{1}{2}$ degrez par le quarré de la vitesse relative 25 pieds, est au produit du quarré du sinus total par le quarré de la vitesse absolue 50. Fig. 83. & 86.

II.

On peut toujours faire entrer de cette sorte la consideration des vitesses respectives du vent dans toutes les Recherches où la vitesse absolue est *donnée*. Mais comment connoître en Mer la vitesse respective FG ; comment découvrir la vitesse absolue CG, pendant que le Vaisseau est en mouvement ? Nous ne faisons pas encore sentir toute la difficulté ; car il n'y a pas jusqu'à la direction du vent qui ne soit alterée par le mouvement du Vaisseau. Nous avons montré que si la surface *de* qui reçoit l'impulsion, étoit encore située plus obliquement, & que sa

Fig. 83. prolongation *c*F coupât la direction VCG du vent, non pas dans le point F, mais dans le point G, la vitesse respective du vent seroit alors réduite à rien, & qu'il n'y auroit plus d'impulsion. Il suit de-là que les *giroüetes*, les *flammes* & tous les autres instrumens dont on se sert en Mer pour découvrir la direction du vent, ou ne l'indiquent pas, ou ne l'indiquent que quand le Navire est dans un parfait repos, ou que lorsqu'il single parfaitement vent en poupe. Au lieu de se placer parallement à la vraye direction VG, ces instrumens se placent sur *c*G en se tournant vers le point G, qui termine l'espace CG parcouru par le vent, & induisent à une erreur égale à l'angle CG*c*. Les particules d'air qui étoient en C avec le Vaisseau, parviennent en G, en même tems que le Vaisseau arrive en *c*. Elles s'éloignent effectivement du Navire de la quantité *c*G; c'est selon *c*G qu'elles s'en éloignent, & par conséquent *c*G marque leur vitesse respective par raport au Navire; & c'est aussi selon cette même ligne que les pavillons & les flâmes doivent se situer pour ne point recevoir d'impulsion.

L'angle CG*c* dont on est sujet à se tromper, peut se trouver de 18 ou 20 degrez; dans le tems même que les courans ne contribuent point à l'augmenter en jettant le Navire de côté. Cet angle deviendra plus grand, lorsque le sillage sera plus rapide, & si le Vaisseau marchoit sur *l'autre bord*, l'erreur seroit de la même quantité de l'autre côté; de sorte que la direction du vent peut paroître changer de 36 ou 40 degrés, ou de la neuviéme ou dixiéme partie du tour de l'Horison, quoiqu'elle soit constamment la même, & que tout le changement ne soit qu'apparent. Je ne met ce changement total à 36 ou 40 degrés, que parce que je ne considere les choses que dans l'état actuel où elles sont: car si on employoit les moyens que nous indiquerons pour rendre la vitesse du Navire beaucoup plus grande, le même changement pourroit aller extrémement plus loin. Il ne seroit pas même impossible qu'un vent d'Orient parût venir presque du Nord; & presque

ensuite du Sud, lorsqu'on change de route. Le vent en un mot doit sembler prendre une autre direction toutes les fois que le Navire fait un autre chemin, ou qu'on fait changer sensiblement sa vitesse, par l'addition ou le retranchement de quelques voiles dans les routes obliques. Le Marin est trompé ici par le mouvement du Vaisseau précisément de la même maniere que l'est le Sectateur de Ptolomée par le mouvement de la Terre. Comme il faut toujours quelque tems pour embrasser une nouvelle route, ou pour orienter les voiles, on s'imagine que c'est le vent qu'on accuse encore d'une plus grande inconstance que celle qu'il a effectivement, qui a changé dans cet intervalle; & c'est ce qui est cause qu'on a navigé jusqu'à présent, sans rien soupçonner de cette particularité du mouvement du sillage. Fig. 83.

Mais ce qui est tout-à-fait heureux, & ce qui peut passer pour une espece de paradoxe, c'est que pendant que nous sommes en Mer, & que tout contribue à nous tromper; pendant que nous jettons inutilement la vûë autour de nous, pour trouver quelque chose de fixe; pendant que tout nous paroît se mouvoir, & que nous ne pouvons pas démêler le réel de l'apparent, pendant enfin que nous ignorons & la vitesse absolue du vent, & la direction même selon laquelle il se meut; nous n'avons qu'à mesurer l'angle apparent d'incidence & la vitesse apparente du vent, & nous serons en état de découvrir la vraye impulsion que souffrent les voiles, comme si tous ces élemens n'étoient pas alterés. L'angle d'incidence apparent ou relatif sera l'angle F*c*G formée par la voile & par la direction apparente *c*G du vent; pendant que *c*G sera la vitesse apparente du vent, sa vitesse relative par raport au corps du Vaisseau, ou celle qu'on trouveroit, si on jettoit au vent des duvets ou des flocons de laine. Cette vitesse relative *c*G qu'à le vent par raport au Navire, est comme on le voit bien differente de celle FG qu'il a par raport à la voile; parce que celle-ci est dépendante de la situation particuliere de la voile. Mais le produit du quarré du sinus

Fig. 83. de l'angle d'incidence apparent F*c*G par le quarré de la viteſſe apparente *c*G, ſera toujours préciſément égal au produit du quarré du ſinus du premier angle d'incidence VCE par le quarré de la premiere viteſſe reſpective FG, de celle qui eſt reſpective par raport à la voile; ſecond produit qui exprime, ainſi que nous l'avons vû, la grandeur de l'impulſion.

Il ſuffit, pour s'aſſurer de l'égalité parfaite de ces deux produits, de conſiderer que dans le triangle GF*c*, le ſinus de l'angle F qui eſt égal à l'angle VCE, eſt à *c*G, comme le ſinus de l'angle F*c*G eſt à FG; car il ſuit de-là que le produit ou le rectangle du ſinus de l'angle F, ou de l'angle VCE par FG, eſt égal au produit du ſinus de l'angle F*c*G par *c*G; & ces deux produits étant égaux, leurs quarrés le ſeront également.

Ainſi nous avons deux différentes expreſſions de l'effort du vent ſur la voile, & chacune aura ſon utilité. La premiere, dont il eſt, ce me ſemble, plus naturel de ſe ſervir dans les ſpéculation de Manœuvre, conſiſte à multiplier le quarré du ſinus de l'angle VCE par le quarré de FG; le quarré du ſinus de l'angle vrai d'incidence par le quarré de la viteſſe reſpective du vent, non pas eu égard au Vaiſſeau, mais eu égard à la voile. La ſeconde expreſſion qui me paroît préférable, lorſqu'il s'agit effectivement de pratique & qu'on eſt en Mer, c'eſt de prendre le produit du quarré du ſinus de l'angle d'incidence apparent F*c*G par le quarré de la viteſſe apparente *c*G du vent. Ces deux expreſſions ſont parfaitement équivalentes; & ſi elles n'apprennent pas la quantité abſolue de l'effort, comme on peut l'apprendre par l'Anémometre, elles nous marqueront au moins toujours le raport ſelon lequel ces efforts changent.

III.

Les flammes & les giroüetes ne donnent, lorſqu'on eſt à terre, que très-imparfaitement la direction du vent; de même

même qu'en Mer elles ne donnent qu'imparfaitement la direction apparente ou relative. Je ne ſçache rien qui indique mieux cette direction que ces inſtrumens de papier ou de toile, qui étant attachés à une longue ficelle, ſe ſoutiennent en l'air par le choc du vent, & ſervent de jeu aux enfans, en même tems qu'ils peuvent être un ſujet de méditation pour les Mécaniciens. Ces inſtrumens en Mer ne montreroient encore par la ſituation de la ficelle qui les retient, que la direction relative du vent, mais avec préciſion; & les remarques précedentes mettroient en état de découvrir la direction réelle ou abſolue qu'il eſt utile & quelquefois néceſſaire de connoître, quand ce ne ſeroit que pour réduire en pratique les differentes régles de Manœuvre que nous ſçavons. Dans le triangle obliqu'angle C*c*G, l'angle C*c*G que forme la route C*c* avec la direction apparente *c*G eſt toujours donné. On aura de plus par les régles du Pilotage, le côté C*c* qui eſt la viteſſe actuelle du Vaiſſeau; & il ne ſera pas difficile de meſurer la viteſſe apparente *c*G du vent, ou de la conclure de l'impulſion que recevra une ſurface d'une étendue connue. Réſolvant le triangle, on découvrira l'angle requis G, qui ſera la quantité dont il faudra corriger la direction apparente *c*G, indiquée par les pavillons & les giroüetes, pour avoir la vraye direction VG. Dans les cas où il ne ſera pas beſoin d'une la grande préciſion, on pourra réſoudre le triangle CG*c* à vûë d'œil, en ſe contentant de ſupoſer que la viteſſe abſolue CG du vent eſt trois ou quatre fois plus grande que celles C*c* du Vaiſſeau, ſelon la diverſe obliquité de la route. Fig. 82.

Il eſt à propos de bien remarquer qu'on ſe trompe toujours dans le même ſens, lorſqu'on prend la direction apparente du vent pour la direction réelle. On croit toujours que le vent eſt plus voiſin de la prouë qu'il ne l'eſt effectivement. Ainſi lorſqu'on ſingle au plus *près* ou *à la bouline*, on ne pince jamais tant le vent qu'il paroît qu'on le fait, à en juger par les giroüetes ou par les flammes. J'ai même reconnu quelquefois qu'on ne gagnoit du tout point, lorſ-

Digitized by Google

qu'on pensoit faire des *bordées* très-avantageuses. On s'imaginoit avancer vers l'origine du vent : mais on ne faisoit effectivement de part & d'autre que des routes ou des bordées perpendiculaires à sa direction réelle.

CHAPITRE IV.

De la relation qu'il y a entre la dérive des Vaisseaux & la situation de leurs Voiles

I.

* Voyez l'art. 4. du dernier chapitre.

NOUS avons vû dans la Section précédente * que l'impulsion directe de l'eau sur la prouë entiere, est toujours représentée par $\frac{\sigma^2}{n^2}A + \frac{s^2}{n^2}B$, pendant que l'impulsion latérale, dans le sens perpendiculaire à l'axe, l'est par $\frac{2s\sigma}{n^2}B$; quelque soit l'obliquité de la route, ou la direction selon laquelle se fait le choc. A designe, comme on le sçait, l'impulsion selon l'axe pour la route directe, ou pour le cas où il n'y a point de dérive; B la plus grande impulsion latérale que souffre la prouë dans les routes obliques de 45 degrés, & s marque le sinus de l'obliquité de chaque route particuliere ou de l'angle de la dérive, & σ son sinus de complement, pendant que n indique le sinus total. Ces impulsions particulieres A & B servent à former les impulsions directes $\frac{\sigma^2}{n^2}A + \frac{s^2}{n^2}B$ & latérales $\frac{2s\sigma}{n^2}B$ pour tous les autres cas : & si pour composer ces deux forces on prend dans le sens de la quille depuis C jusqu'en K (Fig. 84.) l'espace CK pour représenter la premiere ou l'impulsion directe, & sur la perpendiculaire CL l'espace CL pour représenter la seconde force ou l'impulsion relative selon le sens latéral, & que nous achevions le rectangle KCLM, sa diagonale CM nous marquera la quantité & la direc-

Fig. 84.

Digitized by Google

tion de l'impulſion entiere ſelon le ſens horiſontal. C'eſt à cette ligne qu'il faut que la voile DE ſoit perpendiculaire ; afin que les efforts du vent ſelon CF, & de l'eau ſelon CM, puiſſent, comme nous l'avons expliqué dans le premier Chapitre de la Section précédente, ſe détruire mutuellement, quant au ſens horiſontal, & le Vaiſſeau avancer d'un mouvement parfaitement uniforme. Fig. 84.

Mais la voile DE étant perpendiculaire à la direction CM du choc abſolu de l'eau, ſi on prend CO pour repréſenter le ſinus total (n) & qu'on lui tire dans le plan de l'horiſon la perpendiculaire EN, cette ligne coupera la voile ou ſon prolongement dans le point N ; nous aurons OH pour la tangente de l'obliquité de la route ou de l'angle OCH de la dérive, tangente que nous déſignerons par m ; & nous aurons en même tems ON que nous nommerons t, pour la tangente de l'angle OCN que fait la voile avec la quille. Cela ſupoſé, nous conſidérerons que le triangle rectangle CON eſt ſemblable au triangle MKC, & que nous pourrons faire cette analogie : l'impulſion latérale de l'eau CL ou KM qui eſt égale à $\frac{2se}{n^2}$ B, eſt à l'impulſion directe CK $= \frac{e^2}{n^2}$ A $+ \frac{s^2}{n^2}$ B, comme le ſinus total CO $= n$ eſt à la tangente ON (t) de l'angle que fait la voile avec la quille ; & nous aurons l'équation $t = \frac{neA}{2sB} + \frac{ns}{2e}$ qui ſe réduite à $t = \frac{n^2 A}{2mB} + \frac{1}{2} m$, lorſqu'on ſubſtitue à la place du raport $\frac{s}{e}$ du ſinus de l'angle de la dérive & de ſon ſinus de complement, le raport $\frac{m}{n}$ qui lui eſt égal, de la tangente du même angle & du ſinus total. Or nous aurons de cette ſorte une expreſſion très-ſimple & très-générale de la relation qu'il y a pour les prouës de toutes les figures, entre la tangente t de l'angle que fait la voile avec la quille & la tangente m de l'obliquité de la route. Il eſt vrai qu'il reſte à connoître ou les quantités même A & B, ou au moins leur raport $\frac{A}{B}$. On peut les

Fig. 84. découvrir assez aisément par l'examen de la figure de la prouë, comme on l'a vû dans le Chapitre VI. de la Section précédente. Mais il sera plus commode de se borner à en connoître le seul raport, & de consulter pour cela l'expérience, en cherchant une seule fois pour toutes, la quantité de la dérive pour une certaine disposition de voiles, comme le faisoit M. Renau.

II.

Il n'y a en effet, lorsqu'on navige proche de Terre, qu'à remarquer le point de la côte qui paroît toujours au même rumb de vent, pendant que tous les autres points en changent sans cesse, à mesure qu'on avance; & on aura la vraie direction que suit le Vaisseau. Cette direction sera différente de la quille, si les voiles sont orientées obliquement par raport à la longueur du Navire, & la quantité de la dérive sera connuë pour la disposition actuelle des voiles. On pourra découvrir cette même quantité de la dérive de plusieurs autres manieres. Les Marins se contentent, par exemple, presque toujours de prendre pour la vraie route du Navire la trace qu'il laisse derriere lui dans l'eau, & ils mesurent avec une Boussole ou avec quelqu'autre instrument, l'angle que fait cette trace avec la quille. Or suposons que c soit la tangente de cet angle de dérive actuellement mesuré, & b la tangente de l'angle que fait la voile avec la quille; mettant c & b à la place de m & de t dans l'équation générale $t = \frac{n^2 A}{2mB} + \frac{1}{2} m$, nous la changerons en $b = \frac{n^2 A}{2cB} + \frac{1}{2} c$, qui nous fournit $\frac{A}{B} = \frac{2bc - c^2}{n^2}$, & nous fait connoître le raport $\frac{A}{B}$ dont nous avions besoin. Substituant ensuite sa valeur dans l'équation générale, on aura la formule $t = \frac{2bc - c^2}{2m} + \frac{1}{2} m$ par le moyen de laquelle on pourra trouver toujours aisément la disposition que doit avoir la voile pour tous les autres angles de dérive. On peut avec la même facilité resoudre

le Problême inverse : c'est-à-dire, trouver la quantité de la dérive, lorsque la disposition de la voile est donnée. Il n'y a pour cela qu'à traiter m comme inconnuë dans l'équation $t = \frac{2bc - c^2}{2m} + \frac{1}{2} m$, & on en déduira la formule $m = t \pm \sqrt{t^2 + c^2 - 2bc}$. Ainsi on voit que la chose est presque ramenée à cette premiere simplicité où M. Renau n'avoit cru la mettre, que parce qu'il se trompoit. Fig. 84.

Si pendant que la voile fait avec la quille un angle de 60 degrés, on trouve que la dérive est de 4 degrés, il n'y aura qu'à mettre continuellement dans notre formule les tangentes de 4 & de 60 degrés, à la place de c & de b; & faisant ensuite la tangente t de l'angle de la voile & de la quille de quelle grandeur on voudra, on trouvera la dérive qui y convient. C'est de cette façon qu'on a calculé la table suivante ; & on y a mis différentes colomnes de dérive, afin de pouvoir l'étendre à toutes les diverses figures que pourra avoir la prouë. Suposé que la dérive au lieu de se trouver de 4 degrés se trouve de 8 degrés 46′ lorsque la voile fait un angle de 60 degrés avec la quille, ce ne sera pas la seconde colomne, mais la quatriéme qui conviendra au Navire dont il s'agit. On pourra même, lorsque les Vaisseaux s'inclinent considérablement, ou toutes les fois que l'eau ne frapera pas sur les mêmes parties de la carène, examiner la dérive dans chacun de ces états, & voir la colomne qu'il faut choisir pour la mieux représenter.

TABLE GENERALE

Des angles de dérive des divers Vaisseaux, pour tous les divers angles que fait la Voile avec la Quille.

Angles de la Voile & de la quille.	Dérives.	Dérives.	Dérives.	Dérives.	Dérives.	Dérives.
D.	D. M.	D. M.	D. M.	D. M.	D. M.	D. M.
90	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0
80	1. 12	1. 49	2. 35	3. 2	3. 36	3. 48
75	1. 51	2. 47	3. 57	4. 39	5. 30	5. 49
70	2. 30	3. 48	5. 24	6. 22	7. 33	7. 59
68	2. 47	4. 13	6. 1	7. 5	8. 21	8. 54
66	3. 4	4. 30	6. 39	7. 50	9. 16	9. 52
64	3. 22	5. 8	7. 20	8. 38	10. 14	10. 52
62	3. 40	5. 34	8. 2	9. 29	11. 16	11. 56
60	4. 0	6. 7	8. 46	10. 22	12. 21	13. 4
58	4. 21	6. 40	9. 33	11. 19	13. 29	14. 17
56	4. 43	7. 14	10. 23	12. 20	14. 42	15. 35
54	5. 7	7. 51	11. 18	13. 27	16. 5	17. 5
52	5. 32	8. 30	12. 17	14. 38	17. 34	18. 39
50	5. 57	9. 13	13. 22	15. 58	19. 14	20. 28
49	5. 11	9. 35	13. 56	16. 40	20. 9	.. ..
48	6. 25	10. 59	14. 33	17. 27		
47	6. 40	10. 25	15. 13	18. 18		
46	6. 56	10. 52	15. 56	19. 13		
45	7. 13	11. 19	16. 42	.. ..		
44	7. 31	11. 49	17. 30	.. ..		
43	7. 50	12. 21	18. 23			
42	8. 10	12. 55	.. ..			
41	8. 30	13. 31	.. ..			
40	8. 51	14. 10	.. ..			
39	9. 14	14. 54	.. ..			
38	9. 40	15. 41				
37	10. 8	16. 33				
36	10. 38	.. ..				
35	11. 9	.. ..				
34	11. 44	.. ..				
33	12. 28					
32	13. 8					
31	13. 59					
30	14 58					

Fig. 84.

III.

Nous pouvons exprimer auſſi très-aiſément par le moyen d'une figure la relation des deux angles dont il s'agit. Il y a même raport de CO à OF ou de CT à TP, lorſque TP eſt parallele à OF, que de l'impulſion directe CK $= \frac{\sigma^2}{n^2} A + \frac{s^2}{n^2} B$ à l'impulſion latérale CL ou KM $= \frac{2s\sigma}{n^2}$ B; ou que de $\frac{\sigma}{2s} A + \frac{s}{2\sigma} B$ à B, qui ſont les deux impulſions diviſées également par $2s\sigma$ & multipliées par n^2; ou que de $\frac{n}{2m} A + \frac{m}{2n}$ B à B (en mettant à la place de $\frac{\sigma}{s}$ la quantité $\frac{n}{m}$ qui lui eſt égale,) ou qu'enfin de $\frac{nA}{2B} + \frac{m^2}{2n}$ à m (en multipliant de part & d'autre par m & en diviſant par B.) Mais puiſque CT eſt à TP comme $\frac{nA}{2B} + \frac{m^2}{2n}$ eſt à m, il eſt évident que ſi nous conduiſons juſqu'à CF la parallele HP à la quille, afin de faire PT égale à OH $= m$, la partie CT de l'axe CO ſera égale à $\frac{nA}{2B} + \frac{m^2}{2n}$; ce qui montre que cette partie CT eſt formée de deux portions, dont l'une CQ exprimée par $\frac{nA}{2B}$, eſt conſtante dans toutes les routes, & l'autre QT exprimée par $\frac{m^2}{2n}$ eſt variable & proportionelle au quarré de la tangente m de la dérive: & elle eſt par conſéquent égale aux abſciſſes QT d'une parabole SQPR dont $2n$ ou le double de CO eſt le paramétre, & dont les ordonnées TP ſont égales aux tangentes correſpondantes OH des angles de dérive. Auſſi-tôt donc qu'on aura trouvé par l'expérience dont nous avons parlé, l'angle de la dérive HCO pour une certaine diſpoſition de voile DE, il n'y aura qu'à conduire de l'extrémité H de la tangente de cet angle une parallele HP à la quille juſqu'à la rencontre de la perpendiculaire CF à la voile, & on aura le point P par lequel doit paſſer la parabole SPR dont CO eſt l'axe & qui doit avoir le double de CO pour paramétre. On peut ſans doute ſe diſpenſer d'avertir que pour trouver le ſommet Q de

Fig. 84. cette ligne courbe, il n'y a qu'à faire l'eſpace TQ égal à une troiſiéme proportionnelle au double de CO & à TP. Enfin la parabole SPR étant tracée, elle ſervira pour toutes les routes & pour toutes les diſpoſitions de voile : & tous les points correſpondants P & H ou *p* & *h* dans leſquels les perpendiculaires CF à la voile couperont la parabole, & dans leſquels les routes CH couperont la droite NF ſeront toujours ſitués ſur des paralleles PH à l'axe CO. Il eſt vrai que la parabole RQS ne convient qu'à un ſeul Navire pour toutes ſes routes : mais rien n'empêche de tracer pluſieurs autres paraboles égales & aſymptotiques ; ce qui rendra la figure 84 univerſelle.

CHAPITRE V.

Des différentes viteſſes que prend le Vaiſſeau dans les routes obliques.

I.

L'Opération, ſans être beaucoup plus difficile, ſera ſeulement plus longue, lorſqu'on voudra trouver la relation qu'ont entr'elles les diverſes viteſſes avec leſquelles ſingle le Navire. Il eſt évident que ſi l'ordonnée PT de la parabole SQR (Fig. 84.) au lieu d'être égale à OH $= m$, étoit égale à l'impulſion latérale $\frac{2 s \sigma}{n^2}$ B que ſouffre la prouë, la ligne CP repréſenteroit l'impulſion abſolue ; puiſqu'il y a même raport de TP à CP que de KM ou CL à CM. Mais il n'y a du point O qu'à abaiſſer la perpendiculaire OX ſur la route CH ; cette perpendiculaire ſera le ſinus que nous avons indiqué par s, de l'obliquité de la route, & CX ſera le ſinus (σ) de complement : & ſi du point X on abaiſſe la perpendiculaire XZ ſur la quille prolongée ; cette perpendiculaire ſera égale à $\frac{s \sigma}{n}$ ($= \frac{XO \times CX}{CO}$;) puiſqu'on

puiſqu'on aura cette analogie ; CO $=n$ | CX $=\sigma$ || XO Fig. 85.
$=s$ | XZ $=\frac{s\sigma}{n}$. Ainſi ſi cette ſeconde perpendiculaire XZ n'eſt pas égale à l'impulſion latérale $\frac{2s\sigma}{n^2}$ B, elle lui ſera au moins toujours proportionelle, & pourra la repréſenter : & il ſuffit donc de conduire du point X une parallele XY juſqu'à la rencontre Y de la direction CF de l'effort de la voile ; & la partie retranchée CY de cette direction repréſentera l'impulſion abſolue de l'eau.

Si on fait la même choſe pour toutes les autres routes ; on aura une infinité de points Y qui formeront une courbe VQ*v&*, laquelle ſera la *limitatrice* de toutes les impulſions abſolues CY que ſouffre la prouë entiere dans le ſens de l'horiſon. Cette courbe, comme il eſt aſſez facile de le prouver, eſt une ellipſe dont le grand axe V*v* eſt égal à CO moitié du parametre de la parabole ; & ſon ſecond axe Q*&* eſt terminé entre le ſommet Q de la parabole, & le point *&* qui diviſe CO par la moitié.

Cette ellipſe ſe réduit à une ſeule ligne droite, lorſque l'axe Q*&* ſe réduit à rien, ou lorſque le ſommet Q de la parabole, eſt exactement au milieu de CO ; & c'eſt ce qui arrive lorſque la prouë a cette proprieté particuliere, dont nous avons parlé ci-devant, de recevoir de la part de l'eau toujours la même impulſion ſelon ſon axe, quelque ſoit la route qu'elle ſuive. Nous avons ſpécifié ci-devant les circonſtances qui conferent cette proprieté à la prouë : & alors les impulſions abſolues ſont comme les ſecantes des angles FCO que fait la perpendiculaire à la voile avec la quille. Un autre cas qui mérite quelque attention, quoiqu'il faſſe un cas extréme, ſeulement poſſible géométriquement, c'eſt lorſque la prouë eſt infiniment aigue, & que l'impulſion, ſelon le ſens de l'axe, eſt nulle dans la route directe ; alors le point Q tombe en C, & le grand axe V*v* de l'ellipſe eſt exactement double du petit axe. Après tout les impulſions abſolues ne ſont repréſentées par CY que dans la ſupoſition que la viteſſe du Na-

Fig. 84. vire eſt la même : & ſi on veut avoir égard aux diverſes promptitudes du ſillage, & qu'on en déſigne la viteſſe par v, il faut multiplier CY par v^2, puiſque toutes les autres circonſtances étant les mêmes, les impulſions changent comme les quarrés des viteſſes. Tout conſideré, la réſiſtance abſoluë de l'eau contre la prouë, ſera donc exprimée par $v^2 \times CY$, & c'eſt cette réſiſtance qui doit être égale à l'effort que fait le vent ſur les voiles dans le ſens directement contraire.

II.

Si nous déſignons par a la viteſſe abſoluë du vent, par p le ſinus de l'angle d'incidence que fait la vraie direction avec la voile, & par q le ſinus de l'angle de la voile avec la route ; nous aurons $\frac{qv}{p}$ pour la partie de la viteſſe que le vent perd par le mouvement ou par la fuite du Vaiſſeau ; & $a - \frac{qv}{p}$ pour la viteſſe reſpective du vent. C'eſt ce qu'on voit avec évidence, en jettant les yeux ſur la Figure 83, & en ſe rapellant ce que nous avons dit au Chapitre III. La viteſſe abſoluë a du vent eſt repréſentée par l'eſpace CG ; mais le Vaiſſeau en parcourant l'eſpace Cc qui repréſente ſa viteſſe particuliere, ſa voile fuit le vent de la quantité CF, & pour trouver cette quantité, il n'y a qu'à faire cette analogie ; le ſinus p de l'angle F égal à l'angle d'incidence ECV eſt à la viteſſe C$c = v$ du Navire, comme le ſinus q de l'angle ECc ou CcF que fait la voile avec la route, eſt au côté $CF = \frac{qv}{p}$; & ſi on retranche CF de CG, on aura $a - \frac{qv}{p}$ pour la viteſſe reſpective du vent. Mais les impulſions des fluides étant comme les produits du quarré de leur viteſſe par le quarré du ſinus de leur angle d'incidence, multipliés par l'étenduë de la ſurface & par la denſité du fluide ; ſi nous prenons E pour repréſenter, non pas ſeulement l'étenduë de la voile, mais cette étenduë appliquée à la denſité de l'air, nous aurons

$\overline{a - \frac{qv}{p}}^2 \times \frac{p^2}{n^2}$ E pour l'effort abſolu du vent ſur les voiles. Fig. 84.
Nous multiplions l'étenduë E, non-ſeulement par le quarré de la viteſſe reſpective du vent, mais auſſi par $\frac{p^2}{n^2}$ qui eſt proportionel au quarré du ſinus p de l'angle d'incidence, parce que cet effort depend de toutes ces quantités : & comme il doit être égal à la réſiſtance de l'eau contre la prouë, nous avons l'équation $v^2 \times CY = \overline{a - \frac{qv}{p}}^2 \times \frac{p^2}{n^2}$ E, dont on tire $v\sqrt{CY} = \overline{a - \frac{qv}{p}} \times \frac{p}{n} \sqrt{E}$, ou $nv\sqrt{CY} = \overline{ap - qv}\sqrt{E}$ & $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$. De ſorte que nous avons pour toutes les routes la viteſſe du Navire exprimée en grandeurs connuës ou en grandeurs que nous pouvons toujours connoître avec facilité.

III.

Il eſt effectivement très-aiſé de découvrir par une ſeule expérience & indépendamment des autres moyens que nous avons déja donnés, la relation de CY (Fig. 84.) & de l'étenduë E des voiles. L'expreſſion générale $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$ des viteſſes du Navire, ſe réduit à $v = \frac{a\sqrt{E}}{\sqrt{CQ} + \sqrt{E}}$ dans le cas de la route directe, lorſque CY devient CQ, & que le ſinus p de l'angle d'incidence du vent eſt égal au ſinus total n, de même que le ſinus q de l'angle que fait la voile avec la route. Mais de $v = \frac{a\sqrt{E}}{\sqrt{CQ} + \sqrt{E}}$, on en déduit $v\sqrt{CQ} = a\sqrt{E} - v\sqrt{E}$, & l'analogie $a - v | v || \sqrt{CQ} | \sqrt{E}$. Ainſi il n'y a qu'à chercher une ſeule fois dans la route directe la viteſſe reſpective $a - v$ du vent par raport au Vaiſſeau ; en laiſſant aller au vent quelques duvets ou quelqu'autres corps très-legers, & en meſurant l'eſpace qu'ils parcourent dans le Vaiſſeau dans un certain tems. Si on met après cela cette viteſſe reſpective $a - v$ au premier terme d'une proportion dont la viteſſe même v du Vaiſ-

Fig. 84. ſeau ſera le ſecond qu'on connoîtra par les moyens que fournit le Pilotage, il ne reſtera plus qu'à mettre la racine quarrée de CQ au troiſiéme terme, & on aura au quatriéme la racine quarrée de l'étenduë E qu'il faudra introduire dans la formule générale $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$. Supoſé que k exprime combien de fois la viteſſe abſoluë du vent eſt plus grande que celle que reçoit le Navire dans la route directe, on aura $\sqrt{E} = \frac{1}{k-1}\sqrt{CQ}$, & $v =$
$= \frac{ap\sqrt{CQ}}{\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, qui ſe réduira à $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{2n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, lorſque la viteſſe abſoluë du vent ſera triple de celle du Navire dans la route directe; à $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{3n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$ lorſque la viteſſe abſoluë du vent ſera quadruple, &c. Expreſſions qui ſont toutes extrémement ſimples, & qui ne contiennent que des grandeurs que la figure nous offre pour ainſi dire.

IV.

Nous croyons devoir inſiſter un peu ſur la formule générale $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$, pour faire remarquer que généralement parlant, il s'en faut beaucoup que les viteſſes du navire ſoient proportionelles, comme on ſe l'imagine ordinairement, aux racines quarrées $\sqrt{E}$ de l'étenduë des voiles; lorſque toutes les autres circonſtances ſont les mêmes. Le P. Fournier croyoit qu'elles étoient proportionelles aux étenduës mêmes; de ſorte que quatre fois plus de ſurface de voile devoit faire marcher le vaiſſeau quatre fois plus vite. Je ſuis extrêmement étonné, je l'avouë, que l'expérience ne fit pas ſentir à cet Auteur qui paſſoit une partie de ſa vie ſur Mer, combien il ſe trompoit. Les Mathématiciens qui ſont venus depuis & qui ont examiné la choſe avec plus de ſoin, ont penſé que les viteſſes du ſillage n'étoient que comme les racines quarrés des ſurfaces des voiles; de ſorte qu'ils ont prétendu que quatre fois plus de ſurface, au lieu de faire ſingler le Navire quatre fois plus

vite, ne lui procuroit que deux fois plus de vitesse. C'est ce qui aproche beaucoup plus d'être vrai; mais ce qui ne l'est cependant encore, que lorsqu'on suppose la vitesse du vent infinie par raport à celle du sillage. Lorsqu'on admet cette supósition & que le Navire marche deux fois plus vite, il éprouve quatre fois plus de résistance de la part de l'eau; cette résistance est comme le quarré de la vitesse, & pour la vaincre il suffit de faire les voiles quatre fois plus grandes. Fig. 84.

Mais que la vitesse du sillage soit comparable à celle du vent, comme elle l'est en effet, ce n'est plus la même chose: il ne suffit pas de donner aux voiles quatre fois plus de surface; parce qu'outre la grandeur qu'il faut leur donner pour vaincre la résistance, il faut leur en donner encore pour réparer la diminution que souffre l'impulsion du vent par la fuite plus rapide du Navire. Suposé qu'un Vaisseau prenne le tiers de la vitesse du vent & qu'il s'agisse ensuite de le faire aller deux fois plus vite ou de lui faire recevoir les 2 tiers de la vitesse du vent; il faut d'abord rendre sa voile quatre fois plus grande, puisque le Navire trouvera quatre fois plus de résistance de la part de l'eau: mais la vitesse respective du vent étant ensuite deux fois moindre, & son impulsion particuliere quatre fois plus petite, il faudra encore augmenter l'etenduë des voiles quatre fois. Ainsi il faudra leur donner non pas simplement quatre fois, mais seize fois plus de surface, pour faire doubler le sillage. En un mot, *lorsqu'on veut faire croître la vitesse de la marche dans un certain raport, il ne suffit pas d'augmenter l'etenduë des voiles selon le quarré de ce raport, il faut encore toujours l'augmenter en même raison que le quarré de la vitesse respective du vent se trouve plus petite.* On voit après cela combien les maximes ordinaires de manœuvre sont défectueuses au moins à cet égard: & on peut remarquer aussi que s'il a été facile par une disposition même grossiere de toutes les parties du Navire de donner au sillage une certaine rapidité, il est maintenant extrêmement difficile de procurer à cette premiere vitesse qui a couté si peu, une

Fig. 84. augmentation conſiderable. C'eſt un terme qu'on ne ſe réſoudra peut être jamais à paſſer, & auquel on ne parviendra même toujours qu'avec quelque peine, que de faire prendre aux Frégates legeres dans leur marche la moitié de la viteſſe abſoluë du vent

V.

Par un bonheur ſur lequel on ne pouvoit pas compter, car la choſe n'a pas été examinée, cette autre maxime ſe trouve vraie ; *que la viteſſe du ſillage eſt toujours proportionelle au ſinus de l'angle d'incidence réel du vent ſur les voiles, lorſqu'on reçoit le vent plus ou moins obliquement & que les autres circonſtances ſont les mêmes.* Il faut bien remarquer que nous ne diſons pas l'angle d'incidence aparent : car la regle n'eſt exacte que pour l'angle d'incidence vrai, qui par malheur n'eſt viſible que ſur le papier ou dans les figures. Dans la formule $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$, on s'aperçoit que v eſt effectivement proportionnelle à p. Car la voile faiſant toujours le même angle avec la route, le ſinus q ſera conſtant, de même que la quantité CY ; de ſorte que la valeur de v ne change que par le changement de p & dans le même raport ; ſelon qu'en plaçant differemment le Navire, ſa voile reçoit le vent plus ou moins perpendiculairement. Mais il arrive ici comme dans la plûpart des autres recherches qui ſe font par le moyen de l'Algebre ; qu'on trouve ſeurement la vérité & qu'on ne la voit pas : car ce n'eſt pas la voir que de n'en pas apperçevoir la cauſe ou la raiſon. Elle ſe montrera à nous cette raiſon, ſi nous jettons les yeux ſur la figure 86 qui repréſente le Vaiſſeau en deux differentes ſituations par raport au vent, & la voile toujours diſpoſée de même maniere par raport à la quille.

Lorſque le Vaiſſeau eſt dans la premiere ſituation, il ſingle ſur la route Cc, & en paſſant de C en c il fait perdre au vent la partie de viteſſe CF retranchée par cF qui eſt parallele à la voile DE & qui marque ſa ſituation lorſque le Navire eſt parvenu en c. La voile eſt donc frappée avec le

surplus FG de la vitesse du vent. Dans la seconde disposition, la route est C*x* : mais le Vaisseau en passant de C en *x* fait perdre au vent précisement la même partie de vitesse CF par raport à la voile. C'est par cette raison que la vitesse du sillage ne dépend que du sinus de l'angle vrai d'incidence, sans que la diversité de cette angle apporte d'autre difference. Les vitesses C*c* & C*x* étant proportionelles aux sinus des angles d'incidence VCE & VC*e*, elles le sont également aux sinus des Angles CF*c* & CF*x* qui leur sont égaux: mais aussi-tôt qu'il y a même raport du sinus de l'angle CF*c* à C*c* dans le triangle CF*c*, que du sinus de l'angle CF*x* à C*x* dans le triangle CF*x*; & que les angles en *c* & en *x* sont égaux, puisque la voile fait toujours le même angle avec la route, le côté CF doit être exactement le même dans les deux triangles. Fig. 86.

Ainsi lorsqu'on change la situation entiere du Vaisseau par raport au vent, pourvû qu'on laisse aux voiles la même disposition par raport au Navire, la vitesse respective du vent par raport à la voile ne souffre aucun changement, & dans ce cas les regles ordinaires de manœuvre ne doivent donc pas être troublées. Supofé que le sinus de l'angle vrai d'incidence du vent, soit deux ou trois fois plus grand, le Navire singlera deux ou trois fois plus vite. Car si la résistance qu'éprouve la prouë de la part de l'eau, est ensuite quatre fois ou neuf fois plus grande, ou si elle est comme le quarré de la vitesse du sillage, l'impulsion du vent sur la voile qui est la cause du mouvement & qui est proportionelle au seul quarré du sinus de l'angle d'incidence, puisque la vitesse respective FG est ici toujours la même, sera aussi quatre fois ou neuf fois plus forte. Mais la proportion ne subsiste pas, nous le repetons, entre les vitesses du Navire & les sinus des angles d'incidence aparens: parce que l'impulsion ne dépend pas moins des vitesses apparentes du vent *c*G & *x*G que de ces sinus, & que la vitesse aparente du vent est sujette à changer par le changement de la route.

Fig. 86.

VI.

Il ne nous reste plus pour épuiser les remarques qui se presentent sur les vitesses du Navire, qu'à expliquer comment il se peut faire que le sillage soit plus rapide, lorsqu'on reçoit un peu le vent de côté, que lorsqu'on single exactement vent en poupe. Tous les Marins pensent unanimement de même que les Mathématiciens qui ont examiné ce sujet, que cette proprieté ne tire son origine que de ce qu'en prenant un peu le vent de côté toutes les voiles deviennent utiles, & que celles de l'avant qui étoient auparavant couvertes par celles de l'arriere, commencent aussi à avoir part à l'impulsion. Mais il est encore une autre cause qui quoique plus cachée & très-secrette, n'est pas moins réelle, & qui malgré ce qu'on s'imagine généralement, peut faire joüir le Navire de la même proprieté, quoiqu'il n'ait qu'un seul mât & qu'une seule voile, comme nous le suposons toujours dans cette Section. Si le vent dans tous les cas frape la voile DE (Fig. 84.) perpendiculairement, l'expression générale $\frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY}+q\sqrt{E}}$ des vitesses v du Navire, se change en $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CY}+q\sqrt{E}}$, qui se réduit dans la route directe à $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CQ}+n\sqrt{E}}$. Et il est facile de remarquer que quoique la premiere partie du dénominateur de cette derniere expression devienne plus grande, en se changeant en $n\sqrt{CY}$, lorsque la route de directe devient oblique, il peut cependant arriver que le dénominateur entier diminuë; parce que la seconde partie $n\sqrt{E}$ deviendra plus petite par le changement du sinus total n en q, ou par la diminution de l'angle que fait la voile avec la route: changement qui doit produire d'autant plus d'effet qu'il se multiplie par la racine quarrée de l'étenduë E de la voile qu'on peut suposer aussi grande qu'on veut. Or si le dénominateur entier diminue, il n'en faut pas davantage pour que la vitesse v devienne plus grande; elle croîtra dans le même raport que le dénominateur aura diminué. En un mot, pour que la

Digitized by Google

la vitesse $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CY}+q\sqrt{E}}$ qu'à le Navire BA dans la route oblique CH, soit plus grande que la vitesse $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CQ}+n\sqrt{E}}$ qu'il a dans la route directe, il suffit que $n\sqrt{CQ}+n\sqrt{E} > n\sqrt{CY}+q\sqrt{E}$, ou que $\sqrt{E} > \frac{n}{n-q}\times\overline{\sqrt{CY}-\sqrt{CQ}}$.

La possibilité de ce paradoxe se trouve de cette sorte suffisamment établie ; il ne reste qu'à en donner la raison physique. Lorsque le Navire single vent en poupe, & qu'il fait beaucoup de chemin, toute sa vitesse est absolument à retrancher de celle du vent ; & la voile est donc choquée avec moins de force. Lorsque le Navire suit au contraire une route un peu oblique, il peut aller aussi vite & même beaucoup plus vite, & que néanmoins son mouvement ne retranche pas une si grande partie de la vitesse absolue du vent ; ce qui fera que la voile recevra une plus grande impulsion. Si, sans changer la disposition du Vaisseau BA par raport à la direction VG du vent dans la Fig. 86. on rend la voile exactement perpendiculaire à cette direction, la ligne cF deviendra aussi perpendiculaire à GV, & alors la partie CF de la vitesse absolue CG du vent que le mouvement du sillage rendra inutile, sera beaucoup plus petite que la vitesse même Cc du Navire : aulieu que si la route Cc tomboit exactement sur la direction même CG, toute la vitesse Cc seroit à rabatre de celle du vent, & feroit par consequent diminuer davantage la vitesse relative FG avec laquelle la voile est frappée. Toutes ces differences deviendront insensibles, lorsque la vitesse respective FG du vent sera trop grande par raport à elles : mais elles se manifesteront ou produiront des effets marqués, aussi-tôt que cette vitesse sera assez petite pour pouvoir en être considerablement alterée. C'est par cette raison qu'il suffit toujours pour qu'un Navire single plus vite dans les routes un peu obliques que dans la directe, de faire ensorte, en augmentant l'etenduë de sa voile, qu'il single beaucoup plus vite dans l'une & dans les autres, ou qu'il single plus vite dans toutes.

Fig. 86.

Lll

Fig. 84.

VII.

Nous pouvons pouffer le paradoxe encore plus loin, en y joignant une autre particularité incomparablement plus étonnante. Nous pouvons montrer, en attendant que nous donnions les moyens d'effectuer la chofe, que certains Navires peuvent aller dans quelques rencontres plus vite que le vent même. Le vent, lorfqu'il commence à nous incommoder par fa force, fait 24 ou 25 pieds par feconde & parcourt 5 à 6 lieuës par heure : mais il n'eft pas impoffible que le Navire qui en eft pouffé faffe alors ce chemin & même plus, quoique par la feule action de fes voiles. S'il eft queftion de déterminer la direction de fa route & la difpofition de fa voile qui rendent fa viteffe v la plus grande qu'il eft poffible, il eft évident, lorfqu'on jette les yeux fur la formule $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$ ou fur fon équivalente $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, qu'il faut d'abord augmenter le finus d'incidence p du vent fur la voile, jufqu'à le rendre égal au finus total. Ainfi, quoique la voile foit fituée obliquement par raport à la quille, il n'y aura toujours, comme nous l'avons fupofé dans l'article précédent, qu'à difpofer le Navire de maniere que fa voile foit frapée perpendiculairement par le vent, pour procurer au fillage la plus grande rapidité, autant qu'elle dépend de ce chef; ce qui nous donnera $v = \frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$ ou $v = \frac{an\sqrt{CQ}}{\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$. On voit en fecond lieu, que fi l'étenduë E des voiles étoit infinie, le premier terme $n\sqrt{CY}$ du dénominateur de l'expreffion de la viteffe v, deviendroit comme nul ; ce qui reduiroit cette expreffion à $v = \frac{an}{q}$: nouvelle formule qui nous aprendroit, fi nous ne le fçavions déja, que le Navire iroit alors auffi vite que le vent dans la route directe. Mais ce qu'il ne faut pas manquer de confiderer, c'eft que la viteffe v du fillage augmenteroit encore & devien-

droit par conſéquent plus grande que celle a du vent, ſi Fig. 84.
on laiſſoit toujours la voile dans une ſituation perpendiculaire au vent, & qu'on fit embraſſer au Navire une route oblique: car q ſe trouvant moindre que n, la valeur $\frac{na}{q}$ de la viteſſe du ſillage ſe trouveroit plus grande que a.

La ſingularité que nous annonçons n'eſt pas attachée au ſeul cas dans lequel l'étenduë de la voile eſt infinie. Car lorſque le ſinus q eſt moindre que le ſinus total, il ſe peut faire que le premier terme $n\sqrt{CY}$, ou $\overline{k-1}\times n\sqrt{CY}$ du dénominateur de la valeur v, ne ſuplée qu'à peine, ou ne ſuplée pas à ce qui manque au ſecond terme, pour qu'il ſoit égal au facteur $n\sqrt{E}$ ou $n\sqrt{CQ}$ du numérateur; & dans ce dernier cas v ſera néceſſairement plus grande que a. Il ſuffit toujours pour cela dans notre formule $v = \frac{an\sqrt{CQ}}{\overline{k-1}\times n\sqrt{CY}+q\sqrt{CQ}}$, que k ne ſurpaſſe que très-peu l'unité, ou que le Navire prenne preſque toute la viteſſe du vent dans la route directe: car le terme $\overline{k-1}\times n\sqrt{CY}$ ſera très-petit, & il n'empêchera pas que $\overline{k-1}\times n\sqrt{CY}+q\sqrt{CQ}$ ne ſoit moindre que $n\sqrt{CQ}$. En un mot, pour que le Navire avance dans pluſieurs routes obliques avec plus de viteſſe que n'en a le vent même; il ſuffit que $\overline{k-1}\times n\sqrt{CY}+q\sqrt{CQ} < n\sqrt{CQ}$ ou que $\overline{k-1}\times n\sqrt{CY} < \overline{n-q}\sqrt{CQ}$; & on aura la premiere & la derniere de toutes ces routes, en faiſant $\overline{k-1}\times n\sqrt{CY} = \overline{n-q}\sqrt{CQ}$. Il ſera enfin très-facile de déterminer pour chaque Navire l'obliquité qui procure la plus grande de toutes ces viteſſes déja ſi grandes; puiſqu'il ne s'agira que de faire un *minimum* de la quantité $\overline{k-1}\,n\sqrt{CY}+q\sqrt{CQ}$, qui ne renferme que deux variables CY & q dont nous avons la relation.

Nous avons marqué d'avance la raiſon de ce paradoxe, lorſque nous avons parlé du premier dont celui ci n'eſt

Digitized by Google

qu'une extension. Le Navire, quoiqu'il marche réellement plus vite que le vent, en est cependant encore atteint & frapé; parce qu'il ne suit pas la même direction, & qu'il n'évite le choc que par une partie de sa vitesse. C'est ce qu'on verra d'une maniere sensible en jettant les yeux sur la Figure 85, dans laquelle la direction du vent est représentée par VG & sa vitesse par CG; pendant que CH représente la route du Navire & C*c* sa vitesse. Cette derniere vitesse est plus grande que la premiere, mais l'obliquité de la route C*c* est cause que le mouvement du sillage ne rend inutile que la seule partie CF de la vitesse du vent, & qu'il reste encore la partie FG avec laquelle se fait l'impulsion. Ainsi il suffit de donner assez d'étenduë à la voile, afin de recompenser en même tems le peu de vitesse relative avec laquelle elle est frapée & le peu de densité de l'air, pour qu'elle puisse entretenir la vitesse C*c* du sillage. Si le Navire embrassoit une direction trop oblique, de même que s'il en prenoit une trop approchante de la directe; aulieu de parvenir en dehors du cercle GQ dont C est le centre, il se rendroit seulement en quelque point de sa circonference; sa vitesse seroit alors simplement égale à celle du vent: & ce seroient donc là les deux limites, dont nous avons parlé, & que nous sommes en état de déterminer, entre lesquelles sont renfermées toutes les routes comme C*c*, qui donnent lieu au paradoxe. Nous ne croyons pas qu'il soit nécessaire de pousser cette explication plus loin; mais nous montrerons dans la suite, ainsi que nous nous y sommes engagés, comment on peut faire ensorte, par des moyens qui ne sont pas absolument impraticables, que les Navires joüissent effectivement de cette proprieté extraordinaire*. Il est toujours utile de s'occuper de pareilles Recherches; quoiqu'on ne se propose pas d'aller réellement dans la pratique jusqu'au terme qui en est l'objet, & qu'on soit même résolu de s'arrêter beaucoup en deçà.

Fig. 85.

* Voyez le Chap. 8. de la quatriéme Sec. art. 3.

CHAPITRE VI.

De la construction des Tables des Viteſſes.

I.

ENfin, ſi on veut conſtruire une Table des viteſſes du Navire, le calcul dans lequel il faudra s'engager pour cela lorſqu'on ſe ſervira de la formule $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + \sqrt{CQ}}$, ne ſera jamais difficile. Nous nous ſommes contentés de chercher ici ces viteſſes pour trois diverſes diſpoſitions de voile par raport au Navire ; parce que nous nous propoſons ſimplement de montrer la forme que nous ſouhaiterions qu'euſſent ces nouvelles Tables.

La premiere colonne marqueroit l'angle de la voile avec la quille, l'angle ECA (Fig. 86) & la ſeconde l'angle de la dérive ou l'obliquité de la route AC*c*. On a enſuite ſupoſé pour chaque de ces diſpoſitions, divers angles d'incidence VCE du vent ſur la voile, & on les a marqués dans la troiſiéme colonne. Dans la quatriéme on a mis les angles VC*c* de la direction réelle du vent avec la route, leſquels ſont toujours formés, comme il eſt évident, de la ſomme des trois précédens ; la cinquiéme colonne marque la viteſſe du Navire à proportion de celle du vent qu'on a repreſentée par 300. Enfin les deux dernieres colonnes indiquent les angles aparens du vent avec la voile & avec la route. On a trouvé ces angles en reſolvant le triangle CG*c* par le moyen d'une figure, & en retranchant l'angle G que fait la direction aparente *c*G du vent avec la direction réelle CG, des angles vrais marqués dans la troiſiéme & la quatriéme colonne. De toutes ces quantités il n'y a que la premiere des viteſſes pour chaque route, qui engage à une opération un peu longue ; nous venons de voir que toutes les autres diminuent comme les Fig. 86.

ſinus des angles d'incidence vrais du vent ſur la voile. Il eſt vrai que la choſe ira un peu autrement, ſi le Navire a pluſieurs mâts & pluſieurs voiles; parce qu'il faudra faire attention à l'étenduë de la nouvelle partie des voiles de la proüe,qui ſera ſujette à l'impulſion, lorſqu'on rendra l'angle d'incidence plus petit. On peut continuer cette Table; mais après cela il ſera à propos d'en calculer au moins deux autres pour les Vaiſſeaux, qui aulieu de recevoir le tiers de la viteſſe du vent, comme on l'a ſupoſé ici, en reçoivent quelqu'autre partie. Il faut remarquer que preſque tous les calculs qui ſerviront à la conſtruction d'une de ces Tables, ſerviront auſſi aux autres, puiſqu'il n'y aura que la ſeule quantité k qui ſera differente. Mais enfin il eſt fâcheux que ce ne ſoit point encore aſſez: il faudroit ſe reſoudre à former encore d'autres Tables ſemblables à ces premieres, au moins pour trois ou quatre figures de proües differentes; c'eſt-à-dire pour celles qui ſont ſujettes à differentes dérives, quoique les voiles ſoient orientées de la même maniere. L'opération ſe réduiroit à ſuppoſer le ſommet Q de la parabole SQR (Fig. 84) en trois ou quatre points differens de C&; ou à attribuer trois ou quatre grandeurs differentes au petit axe Q& de l'ellipſe VQ*v*&.

Angles de la voile avec la quille.	Angles de la dérive.		Angles d'incidence réels du vent sur la voile.	Angles réels du vent avec la route.		Vitesses du Navire.	Angles d'incidence apparens du vent sur la voile.	Angles apparens du vent avec la route.
D.	D.	M.	D.	D.	M.		D.	D.
90.	0.	0	90.	180.		100.	90.	180.
			80.	170.		98.	75.	165.
			70.	160.		94.	71.	152.
			60.	150.		87.	49.	139.
			50.	40.		77.	38.	128.
			40.	130.		64.	29.	119.
			30.	120.		50.	21.	111.
			20.	110.		34.	14.	104.
			10.	100.		17.	7.	97.
80.	1.	12	90.	171.	12	100.	86.	167.
			80.	161.	12	98.	71.	152.
			70.	151.	12	94.	58.	140.
			60.	141.	12	87.	47.	128.
			50.	131.	12	77.	37.	118.
			40.	121.	12	64.	29.	110.
			30.	111.	12	50.	21.	102.
			20.	101.	12	34.	14.	95.
			10.	91.	12	17.	7.	88.
75.	1.	51	90.	166.	51	99.	80.	160.
			80.	156.	51	97.	70.	147.
			70.	146.	51	93.	57.	134.
			60.	136.	51	86.	46.	123.
			50.	26.	51	76.	36.	113.
			40.	116.	51	63.	28.	105.
			30.	106.	51	50.	20.	97.
			20.	96.	51	34.	13.	90.
			10.	86.	51	17.	6.	83.

II.

On déduira de la nature même de l'ellipſe, ſi on le veut, la valeur des lignes CQ & CY ; mais notre formule $v =$

Fig. 84. $\frac{ap\sqrt{CQ}}{\overline{k-1}\times n\sqrt{CY}+q\sqrt{QC}}$ aura également ſon aplication lorſqu'on cherchera immédiatement ſur la proüe même, par les moyens Géometriques ou Mécaniques que nous avons propoſés dans la Section précedente, les impulſions auxquelles elle eſt ſujette par la rencontre de l'eau. Il ſuffira de ſe ſouvenir que CQ repréſente toujours l'impulſion directe, lorſque le Navire ſe meut préciſement dans le ſens de ſon axe, & CY l'impulſion abſoluë horiſontale qu'il ſouffre dans chaque route oblique CH; & cela lorſque ſa viteſſe eſt toujours la même: car les lignes CQ & CY ne repréſentent les impulſions qu'autant qu'elles dépendent de la ſurface de la Carène; conformément à ce qu'on a vu dans le premier article du Chapitre précédent. On cherchera, ſi on le veut, ces impulſions par la méthode du Chapitre VI. de la Section citée: la premiere CQ trouvée une fois par l'art I. ſervira dans tous les calculs; il n'y aura que la ſeconde CY ſujette à changer par l'obliquité des routes; & comme elle réſulte de la compoſition des impulſions relatives directe & latérale, qu'on trouvera par l'art. II. du même Chapitre, il n'y aura qu'à reſoudre le triangle rectangle dont elle ſera l'hypotheneuſe & dont les deux impulſions relatives ſeront les cotés. Il me ſemble que c'eſt la façon la plus ſimple de calculer CY, lorſqu'il s'agira de Recherches particulieres, & non pas de ſolutions générales. Il ne reſtera plus après cela pour déterminer toutes les viteſſes v du Navire, qu'à faire entrer ces valeurs de CQ & de CY dans la formule; en même tems qu'on y introduira à la place de a la viteſſe abſoluë du vent; à la place de k le nombre qui exprime combien de fois cette viteſſe eſt plus grande que celle du Navire dans la route directe; & à la place de n, de p & de q, le ſinus total, le ſinus de l'angle d'incidence du vent ſur la voile, & le ſinus de l'angle que fait la voile avec la route, c'eſt-à-dire le ſinus de l'angle ECH.

III.

Fig. 84.

III.

Comme je ne doute pas qu'on ne puiſſe ſouvent regarder les Navires qu'on conſtruit de notre tems, comme ſi leur proüe étoit formée de deux arcs de cercle, on peut avec facilité tirer parti du travail de M. Pitot, qui s'eſt donné la peine de calculer les impulſions que ſouffrent divers ſegmens de cercles joints par leur corde, & qui en a dreſſé des Tables dans ſon Traité de Manœuvre. Il eſt vrai que cet Académicien n'a pas inſeré les impulſions qu'il a trouvées, au moins celles qui naiſſent de la derniere compoſition de primitives; mais ce qui revient au même, il a marqué toutes les viteſſes que recevroit le Navire en ſuivant differentes routes, dans la ſupoſition que le vent, malgré la rapidité du ſillage, frapât toujours la voile préciſement avec la même force; & on ſçait que ces viteſſes ſont en raiſon inverſe des racines quarrées des impulſions que nous avons actuellement intérêt de connoître. Car ſi le Navire dans une certaine route, par exemple, préſente 4 fois ou 9 fois moins de ſurface au choc de l'eau, ou une ſurface qui, parce qu'elle eſt moins grande ou plus differente de la plane, reçoit à cauſe des ſeules circonſtances qui lui ſont propres, 4 fois ou 9 fois moins de choc, il eſt évident à tous les lecteurs qui ſe ſont mis au fait des principes expliqués ci-devant, qu'il ſuffira que le Navire ſingle 2 ou 3 fois plus vite pour faire une parfaite compenſation, ou pour que l'impulſion actuelle de l'eau ſoit toujours égale à celle du vent, ſupoſé conſtante. On peut donc conſulter les Tables de M. Pitot, ſçavoir la quatriéme, la cinquiéme, la ſixiéme, &c. juſqu'à la douziéme incluſivement, qui ſont préciſement celles que demandoit M. Bernoulli; & on obtiendra tout d'un coup les valeurs de CQ & de CY, en diviſant l'unité ou quelqu'autre grandeur conſtante par les quarrés des viteſſes indiquées dans ces Tables.

Je prends pour exemple un Navire dont la prouë eſt formée par deux arcs de cercle, qui font en ſe rencontrant un

Digitized by Google

Fig. 84. angle curviligne de 60 degrés: cette figure apartiendra à la douziéme Table dans laquelle la viteſſe pour la route directe eſt marquée, de même que dans les autres Tables par 1000, ce qui donne $\frac{1}{1000000}$ pour CQ, ou $\frac{1}{1000}$ pour $\sqrt{CQ}$. Je ſupoſe de plus que la grandeur des voiles eſt telle que le Navire dans la route directe prenne le tiers de la viteſſe abſoluë du vent, ce qui rend $k = 3$. Si on nous propoſe après cela de découvrir la viteſſe avec laquelle doit ſingler ce Navire, lorſque ſa voile fait avec ſa quille un angle de 59 degrés 31'. & que l'angle réel d'incidence du vent ſoit de 40 degrés, je cherche dans la Table vis-à-vis de 59 degrés 31' & je trouve la viteſſe 923. Ainſi j'ai CY $= \frac{1}{923 \times 923}$ ou $\sqrt{CY} = \frac{1}{923}$; & la même Table m'aprend que l'angle de la dérive eſt de 2 degrés 30', & l'angle par conſequent que forme la voile avec la route de 62 degrés 1'. De ſorte que prenant 100000 pour le ſinus total (n,) j'ai 88308 pour le ſinus q, en même tems que j'ai 64279, pour le ſinus p de l'incidence du vent ſur la voile. Or l'introduction de tous ces nombres dans notre formule $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, la changera en $v = a \times \frac{64279}{304991}$ qui ſatisfait à la queſtion, en nous indiquant le raport qu'a la viteſſe (v) du Navire dans la route propoſée avec la viteſſe abſoluë (a) du vent. Si cette derniere viteſſe eſt repreſentée par 3000, on trouvera 632 pour celle du Navire: & rien n'empêche, en ſuivant la même Méthode, de réſoudre aſſez d'autres cas pour pouvoir en dreſſer une Table complette.

Il ne faudra pas ſe contenter de ſupoſer que la viteſſe du Navire eſt le tiers de celle du vent dans la route directe, il faudra faire varier ce raport, ainſi que nous en avons expreſſément averti; afin d'embraſſer les Vaiſſeaux dont la mâture a des dimenſions differentes. Si on ſupoſe que le Navire dont l'angle curviligne de la prouë eſt toujours de 60 degrés, a des voiles aſſez étenduës pour que la viteſſe qu'il reçoit lorſqu'il ſingle exactement vent en poupe, ſoit la moitié de celle du vent; & ſi on demande celle qu'il doit prendre, lorſque ſa voile fait avec la quille un angle

Digitized by Google

de 54 degrés 38′, & que l'angle réel d'incidence du vent sur cette voile eſt droit, on trouvera d'abord dans les Tables de M. Pitot que l'angle de la dérive eſt de 3 degrés, & par conſéquent l'angle de la voile & de la route de 57 degrés 38′, & que la viteſſe pour le cas dans lequel cet Auteur la cherchée, eſt de 900, à proportion de 1000 qui exprime celle de la route directe. Ainſi on aura dans cet exemple $\sqrt{CQ} = \frac{1}{1000}$; $\sqrt{CY} = \frac{1}{900}$; $n = p = 100000$; $q = 84463$; $k = 2$, & enfin $v = a \times \frac{100000}{195574}$; de ſorte que le Navire prendra dans cette diſpoſition plus de la moitié de la viteſſe du vent, & plus de viteſſe que lorſqu'il ſingle vent en poupe. Ce ſera donc là un des cas du paradoxe dont nous avons parlé dans l'art VI. du Chapitre précédent: ſupoſant la viteſſe abſoluë (a) du vent de 3000, il viendra 1533 pour celle du Navire, aulieu qu'elle n'eſt que de 1500 dans la route directe. On peut dans le calcul, ſans ſe conformer ſervilement à nôtre formule, ſuivre les veſtiges du chemin qui nous y a conduits, & imaginer differens abregés qui diminuront encore la longueur de l'opération, quoiqu'on n'ait point à ſe plaindre de ſa prolixité. On obtiendra par ce moyen des Tables qui ſeront parfaitement exactes, & dont on ne devra la facilité de la conſtruction à aucune négligence des circonſtances eſſentielles. Fig. 84.

CHAPITRE VII.

De la diſpoſition la plus avantageuſe des Voiles & du Vaiſſeau par raport au Vent, pour ſuivre une route propoſée, pour gagner au Vent, &c.

I.

CES Tables ſeroient d'un grand uſage; elles ſerviroient principalement à réſoudre ſur le champ les Problêmes de Manœuvre, ſans qu'on ſe trouvât dans la

néceſſité d'examiner la figure particuliere de chaque Navire. Un de ces Problêmes & un des plus importans, eſt de découvrir la diſpoſition la plus avantageuſe des voiles & du Vaiſſeau par raport au vent pour faire une route propoſée : ce Problême ſeroit tout réſolu par les Tables. Supoſé qu'il fût queſtion de ſuivre une route qui fit un angle de 50 degrés avec la direction du vent, il n'y auroit qu'à voir en cherchant ce nombre dans la quatriéme colomne, la diſpoſition des voiles & du Vaiſſeau qui procureroit au ſillage la plus grande viteſſe poſſible. Si on faiſoit la même choſe pour toutes les autres routes de degré en degré ou de cinq en cinq, on pourroit former une nouvelle Table deſtinée ſeulement à marquer les réſultats ou la diſpoſition la plus avantageuſe, pour ſuivre chaque route.

II.

Un ſecond Problême qui n'eſt pas moins important ; c'eſt de déterminer la diſpoſition des voiles & du Vaiſſeau la plus convenable, pour *gagner* au vent : on le pourroit auſſi reſoudre par les Tables.

Il eſt vrai que ce ſecond Problême eſt plus difficile que le premier : il eſt de ceux qui apartiennent aux queſtions *de maximis maximorum.* Il s'agit lorſque le Vaiſſeau eſt en
Fig. 83. C (Fig. 83.) de le diſpoſer tellement par raport au vent de même que ſa voile DE, qu'il s'éloigne le plus qu'il eſt poſſible de la perpendiculaire MN à la direction VG du vent. Il n'eſt pas queſtion de rendre l'angle VC*c* des deux directions VC & C*c*, le moindre qu il eſt poſſible : car le vent frapant les voiles plus obliquement, & outre cela une moindre partie de l'impulſion s'exerçant ſelon la route, le Vaiſſeau ſingleroit moins vite, & s'éloigneroit peut-être d'une moindre quantité de la ligne MN ; & on doit bien remarquer qu'on ne gagne au vent qu'autant qu'on s'éloigne de cette perpendiculaire, ou qu'on avance vers l'origine même du vent. L'autre Problême où il s'agit de rendre l'angle de la voile & de la route le moindre qu'il

se peut, mérite aussi d'être examiné par les Auteurs qui traitent de la Manœuvre. Ce n'est qu'en se conformant à la disposition qu'il fournit, qu'on réussit souvent à *doubler* un Cap ou à éviter un écueil : car il faut quelquefois *pincer le vent* le plus qu'il est possible, ou rendre l'angle EC*c* de la route & de la voile le plus petit qu'il se peut, afin de faire diminuer l'angle total VC*c* du vent & de la route, lorsqu'il s'agit de passer dans un Canal étroit, sans qu'il importe avec quelle vitesse on single. On n'a calculé dans la Table du Chapitre IV. les angles de dérive que jusqu'à cette disposition, ce qui peut tenir lieu d'une solution plus exacte, qu'il n'est pas d'ailleurs difficile d'obtenir ; puisque le Problême n'est réellement que du second degré. Fig. 83.

III.

On dirigera de cette sorte la route le plus vers le vent qu'il se pourra. Mais cependant on ne *gagnera* pas au vent le plus qu'il sera possible ; parce qu'en suivant, lorsque la chose sera permise, une route C*c* un peu plus éloignée de la direction VC, on singlera plus vite, & cet excès de vitesse reparant ce que la direction de la route fait perdre, il se trouvera que tout compté, la quantité P*c* dont le Navire avancera vers l'origne du vent, sera plus grande. C'est par cette seconde disposition qu'on dispute l'avantage du vent à un ennemi, ou qu'on chicane, pour ainsi dire, contre le vent même, lorsqu'il est absolument contraire à la route qu'on se proposoit de faire, & qu'on est en pleine Mer. On veut aller exactement vers le midi ; mais malheureusement le vent vient précisément de ce côté : il faut donc en présentant la prouë vers cet endroit de l'horison la diriger tantôt vers l'orient & tantôt vers l'occident ; il faut marcher en *zigzags* ou *louvoyer* comme parlent les Marins, & suivre de chaque côté, je le repete encore, non pas la route C*c*, qui fait le plus grand angle *c*CN avec la perpendiculaire CN au lit du vent, mais la route qui fait que le Navire s'éloigne de cette perpendiculaire de la plus grande

Fig. 83. quantité Pc. On considere le vent comme un large fleuve dont toutes les parties se meuvent précisément dans le même sens, & avec la même vitesse; & on veut en se servant de sa propre force, remonter contre son cours le plus qu'il est possible.

Entre les differentes manieres de décomposer la difficulté, afin de résoudre à part chaque question *de Maximis* dans lesquelles elle se partage, tous nos Auteurs de Manœuvre se sont accordés à considerer que la situation du Vaisseau étant donnée par raport à la direction du vent, il y a une certaine disposition de voile qui est préférable; & que pour chaque disposition de voile il y a aussi une certaine situation du Vaisseau qui est plus avantageuse. Mais lorsqu'on entreprend de résoudre le Problême selon cette distribution, on est obligé de se livrer à un double tâtonnement; puisqu'il y a une infinité de diverses dipositions de voiles, & que pour chacune il y a une infinité de diverses situations du Vaisseau. Si pour éviter la prolixité d'un travail si pénible, ou vouloit d'un autre côté négliger la dérive, les déterminations auxquelles on parviendroit, ne seroient pas plus exactes le plus souvent, comme on le verra plus bas, que si on prenoit au hazard les premieres dispositions qui se présentent. C'est ce que l'intérêt de la vérité qu'il n'est pas permis de trahir dans une matiere si importante, me force de dire; & je le puis faire avec d'autant plus de liberté, que je connois toute la candeur des Mathématiciens qui pourroient en être blessés. Mais il y a une autre maniere de partager la question qui ôtant la moitié du tâtonnement, leve aussi la moitié de la difficulté, & qui nous mettroit outre cela en état de résoudre le Problême d'une maniere directe, universelle & parfaitement géometrique, si nous croyons pouvoir en rendre la solution assez simple pour l'accommoder aux usages de la pratique.

Au lieu de considerer que pour chaque disposition du Vaisseau par raport au vent, il y a une disposition plus avantageuse de voile; & que pour chaque disposition de voile

par raport au vent, il y a auſſi une certaine ſituation du Vaiſſeau qui eſt préférable; nous n'avons qu'à ſupoſer d'abord que la voile eſt ſtable par raport au Navire, & chercher la diſpoſition la plus avantageuſe qu'on peut donner à l'un & à l'autre par raport au vent; & après cela nous conſiderons la voile dans diverſes ſituations par raport au Navire, & nous examinerons qu'elle eſt la meilleure. La premiere partie du Problême ſe réſoudra fort aiſément; on trouvera la diſpoſition dont il s'agit par cette regle très-ſimple que nous démontrerons ci-après; que la voile doit toujours être autant éloignée de la direction du vent, que la route eſt éloignée de la perpendiculaire au vent, ou de la ligne quelle qu'elle ſoit dont on veut s'écarter. C'eſt-à-dire que quelque ſoit l'angle que fait la voile avec la quille; *il faut toujours, pour que le Vaiſſeau avec la diſpoſition actuelle de ſa voilure gagne au vent le plus qu'il eſt poſſible, que l'angle réel d'incidence* VCE (Fig. 83.) *que fait le vent avec la voile, ſoit égal à l'angle c*CP *que fait la route avec la ligne* CN *dont il eſt queſtion de s'éloigner.* Fig. 83.

Ainſi le tâtonnement ne peut plus tomber que ſur le ſeul angle que doit former la voile avec la quille. Si cet angle eſt de 40 degrés, & que l'angle correſpondant de la dérive ſoit de 9, l'angle total EC*c* de la voile & de la route ſera de 49; & ſi on ôte cet angle de l'angle VCP qui eſt de 90 degrés, & qu'on prenne la moitié du reſte, on aura 20 $\frac{1}{2}$ degrés pour chacun des angles VCE & *c*CP, conformément à la regle que nous venons de raporter. Or ſi on cherche dans la Table du Chapitre précédent la viteſſe C*c* du Navire & qu'on détermine P*c* en réſolvant le triangle rectangle *c*CP dont on connoîtra l'hypotheneuſe & l'angle PC*c* de 20 $\frac{1}{2}$ degrés, on aura la quantité dont le Navire aura gagné au vent. Il n'y aura qu'à faire la même choſe pour un certain nombre d'autres diſpoſitions de la voile par raport à la quille, & à l'aide de trois ou quatre tentatives, on ſçaura ordinairement laquelle des diſpoſitions eſt préférable ou celle qui fait faire au Vaiſſeau le plus de progrès P*c* dans le ſens directement contraire au lit du

Fig. 83. vent. Comme nous n'avons pas poussé assez loin la Table du Chapitre précédent, nous allons éclaircir ce que nous venons de dire par un exemple pris dans les Tables de M. Pitot, à la constitution desquelles nous nous conformerons, en suposant que la vitesse du vent, est comme infinie par raport à celle du Vaisseau.

Nous choisirons la Table 12 qui exprime les circonstances du mouvement d'un Navire qui seroit formé par deux segmens de cercle chacun de 60 degrés. Si nous suposons que l'angle de la dérive ou l'angle que fait la route avec la quille est de $8\frac{1}{2}$ degrés, nous trouverons dans cette Table que la voile doit faire avec la quille un angle de 28 degrés 41'. D'où il suit que la voile fait avec la route un angle EC*c* de 37 degrés 11' que nous n'avons qu'à ôter de 90 degrés & prendre la moitié du reste, & il nous viendra 26 degrés $24\frac{1}{2}$' pour l'angle d'incidence VCE & pour celui *c*CN que doit faire la route avec la ligne CN dont on veut s'éloigner le plus qu'il est possible. On trouve dans la même Table 654 pour l'expression de la vitesse: mais il faut remarquer que cette vitesse est celle qui est produite par l'impulsion perpendiculaire du vent sur la voile & qu'elle doit être ici diminuée dans le raport que le sinus de l'angle d'incidence 26 degrés $24\frac{1}{2}$'. est plus petit que le sinus total. Ainsi elle n'est actuellement que de 291; & si en résolvant le triangle rectangle CP*c* dont l'angle C est de 26 degrés $24\frac{1}{2}$'. & l'hypotheneuse C*c* de 291 parties on cherche le progrés P*c* vers le vent, on trouvera qu'il est d'environ $129\frac{1}{2}$: au lieu que si on supose que l'angle de la dérive est de 8 ou de 9 degrés & qu'on fasse la même opération, on trouvera que le progrés P*c* est un peu moindre, & que la premiere disposition est par conséquent la plus avantageuse. Or il suit de-là que la voile doit faire avec la quille un angle de 28 degrés 41', & avec le vent de 26 degrés 24': au lieu qu'on trouve* le premier de ces angles d'environ 20 degrés, & le second d'environ 35, lorsqu'on néglige la dérive.

* Pag. 88. du Traité de Manœuvre.

IV.

IV.

Il ne nous reste plus qu'à montrer la vérité de la regle que nous venons d'employer, laquelle pouvant servir également lorsqu'il s'agit de s'éloigner le plus qu'il est possible de toute ligne donnée, doit être d'usage dans plusieurs autres rencontres, & principalement lorsqu'on *donne chasse* à un Vaisseau qu'on veut atteindre. J'ai montré dans les Mémoires de l'Académie des Sciences *, en parlant des lignes que j'ai nommées *courbes de poursuite*, combien on perdoit de tems & combien on s'exposoit à manquer sa proye, lorsqu'au lieu de tâcher de lui couper le chemin, on s'arrêtoit à diriger toujours sa route sur elle, & à décrire une ligne courbe. Si le Vaisseau AB (Fig. 87.) veut atteindre infailliblement le Vaisseau FG qui fait la route KO, il faut qu'il suive une ligne CN avec une vitesse qui soit telle qu'il parvienne en L & en N sur les paralleles LM & NO à la premiere ligne CK, précisément en même-tems que l'autre Vaisseau parvient sur ces mêmes paralleles en M & en O; c'est-à-dire, qu'il faut malgré le mouvement des deux Navires, que l'un reste toujours au même rumb de vent par raport à l'autre. S'ils vont ensuite en s'aprochant, ils se rencontreront infailliblement, parce qu'ils se trouveront en même tems à l'intersection Q de leurs deux routes. Mais si le Vaisseau AB, lorsqu'il est dans la disposition même qui peut l'éloigner le plus de la ligne CK, reste de l'arriere par raport à l'autre Navire, il sera inutile, comme on le voit évidemment, qu'il continuë sa poursuite. Or il s'agit de démontrer qu'une des conditions de cette disposition la plus avantageuse (dont il n'est pas néanmoins toujours nécessaire de se servir, parce qu'au lieu de rencontrer le Vaisseau qu'on poursuit, on passeroit quelquefois au-devant de lui) est que l'angle d'incidence réel VCE du vent sur la voile, soit égal à l'angle LCK que fait la route avec la ligne CK, dont on veut s'éloigner. Lorsqu'il s'agit *de gagner au vent*, on se propose de s'éloigner d'une ligne qui est perpendiculaire au lit du vent; au lieu que lorsqu'on

* Année 1732.

Fig. 87.

veut atteindre un autre Vaisseau & qu'on ne peut le faire qu'à peine, il s'agit de s'éloigner de la ligne CK qui joint les deux points d'où partent les Navires. Mais la régle est générale & aplicable à tous les cas, comme on va le voir.

Fig. 86. Aussi-tôt que l'angle ECA ou *e*C*a* (Fig. 86.) de la voile & de la quille est donnée, l'angle de la dérive est le même; la route fait un angle constant EC*c* ou *e*C*x* avec la voile, & les vitesses C*c* ou C*x* que prend le Vaisseau dans les diverses situations où on le met par raport au vent, sont proportionelles comme nous l'avons prouvé, aux sinus des différens angles d'incidence que fait le vent avec la voile: c'est-à-dire, que C*c* est à C*x* comme le sinus de l'angle VCE est au sinus de l'angle VC*e*. Mais puisque dans le triangle *c*C*x* les côtés C*c* & C*x*, qui sont suposés ne former qu'un angle infiniment petit, sont aussi proportionels aux sinus des angles qui leur sont oposés en *x* & en *c*, & que la différence de ces deux angles, qui est l'angle *c*C*x*, est égale à la différence EC*e* des deux angles d'incidence, il s'ensuit que les angles en *c* & en *x*, sont égaux aux angles d'incidence: car il faut nécessairement que deux angles soient égaux à deux autres angles, aussi-tôt qu'il y a entr'eux la même différence, & qu'outre cela il y a le même raport entre leurs sinus. Ainsi en donnant différentes dispositions au Vaisseau par raport au vent, on lui fait suivre différentes routes, & on le fait parvenir en divers points *c*, *x*, &c. qui forment une courbe O*cx*P: nous ne nous arrêtons pas à montrer que cette courbe est un cercle; mais aussi-tôt que l'angle de la voile avec la quille est toujours de même, on voit que cette courbe, ou ce qui est la même chose, que la ligne infiniment petite *cx* qui joint les deux points *c* & *x* où le Navire parvient, lorsqu'on lui donne deux dispositions qui ne différent qu'infiniment peu l'une de l'autre, fait toujours avec la route C*c* un angle *c* égal à l'angle correspondant d'incidence du vent sur la voile. S'il s'agit donc de choisir la disposition qui fait que le Vaisseau s'éloigne le plus qu'il est possible d'une ligne droite donnée CM, ou de le faire parvenir

dans l'endroit de la courbe OcxP, qui étant parallele à la ligne proposée, en est à la plus grande distance, il faut que l'angle cCM que fait la route avec cette ligne, soit égal à l'angle d'incidence réel VCE du vent sur la voile; puisque le premier de ces angles doit être égal à l'angle Ccx, aussi-tôt que cx est parallele à CM, & que le second est toujours égal à ce même angle dans toutes les diverses dispositions du Vaisseau. Notre régle servira non-seulement dans les circonstances que nous avons mentionnées; elle servira également lorsqu'on voudra *s'élever* d'une côte, ou doubler un cap, &c.

CHAPITRE VIII.

Construction des Problêmes proposés dans le Chapitre précédent.

I.

NOUS pouvons donner aussi une construction assez facile des deux Problêmes précédens, à laquelle on aura recours lorsqu'on voudra éviter le procedé trop lent du calcul. Ayant tiré une ligne DE (Fig. 88.) pour représenter la voile; après avoir élevé une perpendiculaire CF pour représenter la direction de son effort, je tire plusieurs lignes, comme CH, pour marquer les diverses routes du Navire, & je retranche sur ces lignes des espaces CG, qui désignent les vitesses dans chaque route. L'angle, GCE que fait la route avec la voile étant donné, le Vaisseau peut avoir une infinité de différentes vitesses, selon que le vent frape les voiles plus ou moins obliquement; mais les espaces CG marquent seulement celles que prend ce Vaisseau lorsque le vent frape les voiles à angle droit: de sorte que CG est bien la valeur de v fournie par la formule $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{\overline{k-1}\times n\sqrt{CY}+q\sqrt{CQ}}$; mais c'est lorsqu'on fait p, qui dé- Fig. 88.

Fig. 88. ſigne le ſinus de l'angle d'incidence du vent, égal au ſinus total *n*. En un mot les viteſſes que nous employons ici ſont les premieres qui ſont marquées dans la Table du Chapitre V. pour chaque diſpoſition particuliere de voile. Les angles HCE de la route & de la voile, ou leur complement HCF, ſont pris de la figure 84, où ils ſont exprimés par les mêmes lettres, & les quantités CQ & CY qui entrent dans la formule des viteſſes, ſont, comme on s'en ſouvient, fournies par la même figure, ou le ſeront par l'examen actuel qu'on fera de la prouë. La courbe NFG, que nous conſidérons maintenant & qui paſſe par tous les points G, ſera géométrique; mais après tout, on peut faire entrer dans la détermination des viteſſes CG toutes les conſidérations qu'on croira y avoir part: nous ne demandons rien autre choſe, ſi ce n'eſt que cette courbe qui pourra enſuite ſe trouver mécanique, ſoit tracée exactement.

II.

La ſeule méthode légitime qu'on a propoſée juſques ici pour trouver la diſpoſition la plus avantageuſe des voiles, pour faire une route propoſée, exigeroit qu'on traçât une infinité d'autres courbes ſemblables à celle-ci; qu'on en formât une nouvelle qui paſſât par toutes les interſections ſucceſſives de ces premieres, ou qui en fût la continuelle oſculatrice, & qu'on ſçût tirer les tangentes à cette derniere courbe. Cette conſtruction a été donnée par un Mathématicien trop ſçavant pour ne pas être élegante: mais elle ſupoſe néanmoins bien des choſes, au lieu que nous n'avons beſoin que de la ſeule courbe NFG. Je conſidere deux routes CG & Cg infiniment proche l'une de l'autre, & qui font avec les deux lignes VC & *v*C un angle égal à celui que fait la route propoſée avec la direction réelle du vent. Les deux lignes VC, *v*C repréſentent la diſpoſition du vent par raport à la voile, lorſque le Vaiſſeau ſuit ou CG ou Cg; & les Geométres ſçavent que ſi le Vaiſſeau marche avec la même viteſſe, en ſuivant ces deux

différentes routes, ou ce qui revient au même, que si la différentielle de la vitesse est nulle, c'est une marque que cette même vitesse est à son terme de grandeur, qu'elle est un *maximum*, & qu'on a trouvé la disposition la plus avantageuse. Il est vrai que Cg est plus grande que CG; mais il faut remarquer que c'est parce que ces lignes, à cause de la costruction particuliere de la courbe, expriment la vitesse du Navire pour une incidence toujours constante du vent sur la voile; au lieu que si les angles d'incidence sont différens, les deux vitesses pourront être ramenées à l'égalité. Fig. 88.

C'est ce qui arrivera effectivement, si dans le triangle GCg les angles G & g sont égaux aux angles d'incidence correspondans VCE & *v*CE du vent sur la voile. Car Cg & CG étant comme les sinus des angles oposés G & g, elles seront en raison inverse des sinus des angles réels d'incidence; & la vitesse Cg, qui conserveroit sa grandeur si elle répondoit à un angle d'incidence également grand, deviendra égale à CG; parce que repondant à l'angle d'incidence *v*CE, elle doit diminuer dans le même raport que le sinus de ce dernier angle est plus petit que celui de l'autre VCE. Ce ne seroit pas la même chose, si les deux routes, en se terminant en quelques autres points de la courbe, faisoient avec la courbe des angles plus grands ou plus petits que ceux d'incidence du vent sur la voile. Comme les lignes CG & Cg ne représentent toujours les vitesses du sillage que pour une égale incidence du vent, il est vrai qu'il faudroit faire également une déduction à la seconde vitesse Cg, puis qu'elle répondroit à une incidence plus petite. Mais la diminution se faisant dans le même raport que le sinus d'un angle d'incidence est plus petit que l'autre, il est nécessaire que dans le triangle GCg, les angles G & g soient égaux à ces angles d'incidence; ou que les côtés Cg & CG soient en raison inverse des sinus de ces mêmes angles, pour que la vitesse Cg après la déduction faite, se trouve parfaitement égale à CG.

Ainsi le point G où se termine la route CG dans la dis-

Fig. 88. position la plus avantageuse, est marqué par cette proprieté distinctive, que l'angle G que fait la route avec la courbe NFG, est exactement égal à l'angle d'incidence VCE du vent sur la voile. Mais cela suposé, si on tire au point G une tangente CS à la courbe, l'angle extérieur GSR qu'elle fera avec le prolongement de la voile, sera égal à la somme des deux angles intérieurs G & SCG, & sera donc aussi égal à l'angle VCG de la route & de la direction du vent, qui est formé de l'angle SCG & de l'angle d'incidence VCE égal à l'angle G. Nous avons par conséquent cette regle pour obtenir la disposition la plus avantageuse du Vaisseau & de la voile, lorsqu'il s'agit de faire une route dont l'angle avec la direction du vent est donné. *Nous chercherons le point* G, *où tirant à la courbe* NFG *des vitesses une tangente* GS, *elle fasse avec la voile prolongée* CR *un angle* GSR *égal à celui que forme le vent avec la route qu'on veut suivre ; & conduisant au point* G *la droite* CG, *on aura la situation de la route par raport à la voile, pendant que* VC, *qui fera avec* CG *l'angle donné, indiquera la vraie direction du vent.*

Le Problême se trouve de cette sorte débarrassé de tout ce qu'il avoit de difficile, & réduit à une question simple de pure Géometrie. Mais ce n'est pas ici le lieu d'en parler davantage ; d'autant plus que nous croyons qu'il suffit dans la pratique de former avec une fausse équerre l'angle RSG égal à celui du vent & de la route proposée, & de faire glisser une des branches de cette fausse équerre le long de la ligne RC, jusqu'à ce que l'autre vienne toucher la courbe, & indique le point G qu'on vouloit découvrir.

III

L'autre Problême dans lequel il s'agit de *gagner au vent* ou de s'éloigner le plus qu'il est possible d'une ligne droite donnée, ne sera pas plus difficile ; il suffit pour le résoudre de faire usage des maximes déja établies. Nous suposons
Fig. 89. que notre courbe des vitesses NFG (Fig 89.) est déja tracée,

& que VC repréſente la direction du vent, pendant que CG eſt la route, & CQ la ligne dont il s'agit de s'éloigner le plus promptement qu'il eſt poſſible, & qui fait avec VC un angle donné VCQ. Il faut d'abord que l'angle d'incidence VCE ſoit égal à l'angle GCQ que fait la route avec la ligne CQ dont il s'agit de s'écarter: c'eſt là une condition néceſſaire, comme nous l'avons vû dans le dernier article de l'autre Chapitre. Mais pendant qu'elle eſt obſervée, il faut encore que le Navire ſingle ſur CG avec la plus grande viteſſe: car plus il ira vite ſur CG, plus il s'éloignera de CQ, toutes les autres circonſtances étant les mêmes. Ainſi il faut conformement à ce que nous venons de montrer dans l'article précédent que la route CG faſſe en G avec la courbe NFG un angle PGg égal à l'angle d'incidence VCE. Mais puiſque l'angle d'incidence VCE eſt non ſeulement égal à l'angle GCQ, qu'il l'eſt auſſi à l'angle PGg de la route & de la courbe, les deux derniers angles ſeront égaux entr'eux, & par conſéquent la courbe ſera parallele en G à la droite CQ dont il s'agit de s'éloigner. Fig. 89.

Cela ſupoſé, je fais l'angle QCO égal à l'angle QCG ou à l'angle d'incidence VCE; ou ce qui revient au même, je tire la CM de maniere qu'elle faſſe avec la voile un angle OCE égal à celui que fait avec la direction du vent la ligne dont on veut s'écarter. Si après cela on éleve au point G ou g une perpendiculaire GQ à la courbe, cette ligne ſera auſſi perpendiculaire à CQ, & lorſqu'elle viendra rencontrer la ligne CM dans un point O, elle formera avec la route & avec CO un triangle iſocelle GCO. Nous pouvons donc maintenant caracteriſer aiſément le point G où ſe doit terminer la route qu'il eſt le plus avantageux de ſuivre. *Il faut lorſqu'on éleve une perpendiculaire à la courbe* NFG *des viteſſes dans ce point* G, *que cette perpendiculaire vienne retrancher ſur* CM *qui fait avec la voile un angle égal à celui que fait la ligne donnée avec la direction du vent, une partie* CO *égale à* CG.

Toute la difficulté ſe réduit encore de cette ſorte comme ci-devant à une queſtion de Géometrie pure; & pour

Fig. 89. la résoudre aisément dans la pratique, il n'y a qu'à tracer plusieurs arcs de cercle comme NG, *ng*, &c. qui couperont CM dans les points O, *o*, &c. On tirera les cordes des arcs interceptés OG, *og*, &c. & il n'y aura qu'à examiner laquelle de ces cordes, est perpendiculaire à la courbe NFG; cette corde perpendiculaire fera connoître le point G. On peut pour exécuter cela plus aisément poser successivement la branche d'une équerre sur les cordes OG, *og*, &c. & s'arrêter, aussi-tôt que l'autre branche de l'équerre sera exactement tangente à la courbe.

IV.

On ne peut pas dire avec M. le Chevalier Renau que la courbe NFG des vitesses est un cercle; mais il peut arriver qu'elle n'en differe que très peu & qu'on ne commette aucune erreur sensible à suposer qu'elle le soit. Alors les deux Problêmes précédens se resoudront d'une maniere immediate & absolument géometrique avec une simplicité que les autres solutions qu'on en avoit données, ne devoient pas naturellement faire attendre. Il n'y aura qu'à décrire un second cercle du point C comme centre, qui passe par le centre *x* du cercle NFG, & l'intersection G de ces deux cercles marquera le point où doit se rendre la route CG qui fait *gagner au vent* le plus qu'il est possible. On résoudra avec la même facilité l'autre Problême dans lequel il s'agit de trouver la disposition des voiles & du Vaisseau la plus avantageuse par raport au vent pour suivre une route proposée. M. Renau s'étoit trouvé obligé de recourir à une construction si longue qu'une partie considerable de son livre est destinée à la détailler ou à l'établir, & encore n'est-elle que Mécanique; au lieu qu'il n'y a qu'à former simplement au centre *x* un angle C*x*G égal à celui que doit faire la route avec la direction du vent; & le rayon *x*G indiquera le point où doit se terminer la route. Mais il me paroît que nous avons assez examiné le mouvement du Vaisseau en général: il nous faut maintenant discuter en particulier les modifications qu'y apportent les differentes formes de la carène & la diverse disposition de toutes les autres parties.

TROISIE'ME SECTION.

Du Vaisseau consideré par raport à la proprieté qu'il doit avoir de bien gouverner, tant par le moyen du Gouvernail, que par le moyen des Voiles.

CHAPITRE PREMIER.

De la situation des Mâts, de leur nombre, & de l'équilibre qu'il doit y avoir entre les Voiles de la Proue & de la Poupe.

I.

LE principe établi dès les commencemens de ce troisiéme Livre touchant l'égalité & l'oposition parfaite qui doivent se trouver entre les impulsions du vent & de l'eau, suffit pour nous mettre en état d'assigner d'une maniere sure la place des mâts. Si on n'en veut donner qu'un seul au Navire, il faut nécessairement l'arborer dans le point C (Fig. 67.) qui est l'intersection de la direction du choc de l'eau dans les routes obliques, & de la quille: autrement les deux differentes impulsions ne pourroient pas être directement oposées ni parfaitement contraires. On ne doit pas craindre que ce point change de place dans chaque route, puisqu'on a vû cette vérité importante, que pourvû que l'eau ne frape que les mêmes parties de la Fig. 67.

Digitized by Google

Fig. 67. prouë, quelque figure qu'elle ait, la direction du choc coupe la quille toujours précisément dans le même endroit. * Mais si au lieu d'un seul mât on veut en mettre plusieurs, il faudra les placer en avant & en arriere du point C, comme en Z & en Y, de maniere que les voiles soient dans un parfait équilibre de part & d'autre de ce point; afin qu'elles fassent précisément le même effet qu'une seule qui y seroit appliquée.

* Voyez le Chap. VIII. art. 2. de la 1re. Sect. de ce 3e. Liv.

La pluralité des voiles est absolument nécessaire, non seulement parce qu'il n'est pas possible qu'une seule ait assez de largeur; mais encore parce qu'il faut des voiles appliqueés aux deux extrémités du Vaisseau, pour pouvoir le faire tourner en toutes sortes de sens, ce qui ne pourroit presque jamais s'exécuter avec une seule. Outre cela si la route devient si oblique que l'eau frape differentes parties de la prouë, le point C s'aprochera de la poupe, peut-être d'une huitiéme partie de la longueur du Navire; & ce ne sera encore qu'avec le secours de plusieurs voiles, selon qu'on exposera au vent, une plus grande ou une moindre surface de celles de l'avant ou de l'arriere, qu'on pourra rendre leur effort commun ou total directement oposé au choc de l'eau, en les faisant se contre-balancer exactement autour du nouveau point C.

Il est selon cela de la derniere importance de déterminer ce point avec précision. C'est ce qui nous a obligé d'insister dans le Chapitre VI. de la premiere Section sur la maniere de chercher la situation de la direction FC du choc de l'eau, en partageant la surface de la carène en parties triangulaires sensiblement planes. Lorsqu'on attribue au Navire la figure qu'on lui donne le plus ordinairement, on trouve que la direction FC coupe la quille environ aux deux neuviémes de sa longueur, à commencer de l'avant, ou à peu-prés aux cinq seiziémes de toute la longueur du Vaisseau. C'est-à-dire que si la distance BA du haut de l'étambot, au haut de l'étrave est de 160 pieds, la distance CA est d'environ 50; ce qui ne peut pas être parfaitement exact pour tous les Navires, mais ce qui con-

Digitized by Google

vient au plus grand nombre. Lorſque le Vaiſſeau ſera formé de deux cones joints par leur baſe, dont l'un ſervira de proüe & l'autre de poupe, & que le premier ſera les $\frac{5}{12}$ de la longueur totale, pendant que le ſecond en ſera les $\frac{7}{12}$, & pendant que la plus grande largeur ſera le quart de toute la longueur, la diſtance CA ne ſera pas tout-à-fait de 50 parties, dont toute la longueur eſt de 160; mais d'environ 48 $\frac{2}{5}$: cette même diſtance ne ſera que de 46 parties, lorſque la largeur DF ſera la ſixiéme partie de la longueur AB. Il faut remarquer que toutes ces diſtances ne conviennent au point C que dans ſa premiere ſituation ou dans les premieres routes obliques, lorſqu'il ne s'eſt pas encore ſenſiblement reculé vers la poupe. Si on ne pouvoit pas, au reſte, ſe réſoudre pour le déterminer à examiner en détail la figure de chaque proüe, on pourroit le chercher par expérience ſur un petit Navire, d'un ou deux pieds de longueur, fait ſur la même forme. Il eſt difficile de conclure la hauteur des mâts des grands Vaiſſeaux par la hauteur qu'on peut donner aux mâts d'un très-petit; parce qu'il eſt alors queſtion de la force même des puiſſances qui agiſſent, laquelle ne ſuit pas le raport ſimple de la longueur ou de la largeur du Vaiſſeau; au lieu que l'aplication de la mâture ſur différens points de la quille dépend de la ſeule ſituation des directions des puiſſances, laquelle eſt parfaitement ſemblable dans les grands & dans les petits Navires. On pourra encore mettre en mouvement dans le Port même le Vaiſſeau déja conſtruit, en le tirant par le moyen d'un cordage apliqué au côté de la proüe: ce cordage étant prolongé coupera la quille ou l'axe AB dans le point requis C, comme l'a remarqué M. Camus dans ſa Piece ſur la mâture, qui eſt toute pleine de choſes utiles. Fig. 67.

Auſſi-tôt enfin que le point C ſera déterminé, on pourra ne placer qu'un ſeul mât qu'on apliquera dans ce point, ou bien on en mettra pluſieurs de part & d'autre, en obſervant toujours qu'il y ait entre les voiles un parfait équilibre. Si on veut, par exemple, raprocher le mât qui eſt

Fig. 67. en Y, & le porter à une diſtance du centre d'effort C; moindre d'une dixiéme partie, ſans toucher aux autres mâts, il n'y aura qu'à rendre ſa voile plus grande dans le même raport qu'on rendra ſa diſtance au point C plus petite. On démontrera dans la ſuite qu'on doit allonger conſidérablement les Navires, qui ne ſont faits exprès que pour la marche, ou ce qui eſt équivalent, qu'on doit les retrécir: il faudra en même-tems retrécir leurs voiles; & on pourroit alors en multiplier le nombre, en mettant quatre mâts verticaux, au lieu de trois, depuis la poupe juſqu'à la prouë, afin de ne pas perdre dans les routes obliques le vent qui paſſeroit ſans cela entre ces voiles trop étroites. Ce n'eſt que l'expérience qui aprendra ſi la choſe peut s'exécuter commodement. Mais il n'y auroit toujours qu'à faire enſorte que le moment total des unes fût égal au moment total des autres, de part & d'autre du point C.

II.

On peut de cette ſorte ſe diſpenſer de ſuivre auſſi ſuperſtitieuſement que le font les Conſtructeurs, leurs maximes ordinaires. Il eſt vrai que ſi leurs regles ne ſont pas uniques, elles ſont au moins ici preſque toujours ſûres, & que leur plus grand défaut ne conſiſte que dans leur ſimple limitation. Ils auront ſans doute d'abord placé le mât du milieu ou le *grand mât* vers le point G; mais voyant que ſa voilure ne ſervoit point ou ne ſervoit que très-peu à faire tourner le Navire, ils ſe ſont trouvés obligés d'en mettre d'autres vers l'avant & vers l'arriere, le mât *de miſaine* en Z & l'*artimon* en Y; & enfin à force de les changer de place & de reparer l'équilibre, ils ſont parvenus à la diſpoſition actuelle, qui eſt bonne, mais qui pouvoit être différente d'une infinité de manieres. Le mât *de beaupré*, ce mât panché en avant & qui ſort du Vaiſſeau, s'eſt introduit enſuite; parce qu'il arrivoit quelquefois qu'on n'avoit pas encore aſſez de voiles vers la prouë, par la raiſon que nous expliquerons ci-après, & qu'on l'a d'ailleurs trouvé commode, pour fixer pluſieurs cordages qui ſoutien-

nent les autres mâts. Si on étoit parti d'un autre terme, Fig. 76.
si on avoit, par exemple, commencé à mettre le premier mât vers la prouë, on se trouvoit vraisemblablement amené à un autre arrangement; mais la Pratique, quoique dépourvuë de Théorie & quoique grossiere, ne pouvoit toujours dans cette rencontre que bien conduire, vû la simplicité du sujet qui n'est mêlé de rien d'étranger. Ce n'est pas seulement entre toutes les voiles que l'équilibre se trouve de part & d'autre du point C; il subsiste encore lors qu'on en a serré une partie & qu'on ne laisse que les quatre principales ou les quatre *majeures*; & on en a encore toute l'obligation à l'expérience. Souvent on ne peut porter que ces quatre voiles; & si elles ne se contrebalançoient pas exactement, on ne pourroit pas suivre constament la même route.

Il est facile de s'assurer de l'équilibre dont nous parlons. La surface de la grande voile & celle du grand hunier dans un Vaisseau du premier rang, est d'environ 9500 pieds quarrés, pendant que celle de la mizaine & de son hunier, est d'environ 8040. Or ces deux étenduës sont à très-peu près en raison inverse de leur distance au point C; de sorte que la moindre dimension des voiles de l'avant est exactement recompensée par le bras de levier plus long, auquel elles sont apliquées. Pour le vérifier tout d'un coup, il n'y a, conformement au premier principe de Mécanique, qu'à multiplier chaque étenduë par sa distance particuliere au point C qui sert d'hypomoclion, & voir si les deux produits ou momens sont égaux. La grande voile est éloignée du point C de $32\frac{1}{4}$ pieds, & la misaine à très-peu près de $38\frac{1}{2}$ pieds; ce qui donne 306120 pour le produit ou pour le moment de la premiere, & 309540 pour celui de la seconde.

III.

On peut sans doute retrecir très-considérablement les Navires, avant qu'il soit permis d'augmenter le nombre de leurs mâts: mais en poussant le retrecissement encore

Digitized by Google

Fig. 67. plus loin, les voiles qui seront aussi moins larges, seront moins sujettes à s'embarrasser ; & rien n'empêchera alors d'arborer quatre mâts verticaux, comme on l'a déja dit. Dans ce cas il faudroit raprocher le mât de misaine Z le plus près qu'il se pourroit de l'extrémité A de la prouë ; & on mettroit deux grands mâts, l'un vers P en avant, s'il étoit possible du Point C, & l'autre vers Q en arriere, & même au-delà du milieu du Navire. Les voiles de ces trois mâts, du mât de misaine arboré en Z, mais raproché de la prouë, du premier grand mât placé en P, & du second en Q, se mettroient exactement en équilibre autour du point C, ou ce qui revient au même, on rendroit le moment des deux premieres parfaitement égal à celui de la troisiéme ; & on observeroit en même tems, autant qu'on le pourroit, de faire l'intervale PQ un peu plus grand que l'intervale PZ, de le faire plus grand à peu près dans le même raport, que la somme des largeurs des deux grandes voiles, seroit plus grande que la somme de la premiere grande voile & de la misaine. Cette condition est nécessaire, comme il est assez évident ; afin que les voiles reçoivent le plus de vent qu'il est possible dans les routes obliques, sans se l'intercepter les unes aux autres. Enfin l'artimon s'arboreroit toujours en Y, ou on le reculeroit un peu plus vers la poupe ; & ses voiles serviroient toujours à supléer l'équilibre dans les routes très-obliques, lorsque l'eau commence à fraper la partie postérieure de la carène, & que le point C s'aproche considérablement du milieu du Navire. Les voiles du mât de beaupré conserveroient aussi toujours leur usage qui est tout contraire; il suffiroit de diminuer un peu leur étenduë.

Si on vouloit traiter la chose en rigueur, sans avoir égard à la commodité des Marins, qui ne peuvent pas manquer de trouver plus de difficulté à la manœuvre, à mesure qu'il y a un plus grand nombre de différens mâts, il ne faudroit se borner ni à quatre mâts verticaux ni à cinq, mais en déterminer le nombre, de même que l'aplication, de la maniere suivante. Après avoir raproché la misaine DE

(Fig. 90.) le plus près de l'extrémité A de la prouë qu'il seroit possible, & reglé sa largeur sur celle qu'à le Navire dans ce même endroit, on lui feroit faire avec la quille, le plus petit angle ACE qui convient pour aller *au plus près*. On connoîtroit la quantité de cet angle, ou en examinant ce qui se passe dans d'autres Navires, ou bien en se conformant aux solutions que nous avons données dans les deux derniers Chapitres de la Section précédente; & on trouveroit en même tems le plus petit angle VCE que doit faire la direction du vent avec la voile. Quant au moindre angle total VCA du vent & de la quille, il seroit de 45 degrés, si le Navire étoit infiniment peu large, & il doit être d'environ 55 degrés dans les Navires actuels. Tout cela supofé du bord D de la misaine qui est sous le vent, on tireroit la parallele Dv, à la direction du vent; & il faudroit raprocher assez le second mât pour que la voile LM, dont la largeur seroit aussi reglée sur celle du Navire, vint se terminer en M à cette parallele Dv. Par le bord L de la seconde voile, on conduiroit une nouvelle parallele Lu à la direction CV; & on placeroit le troisiéme mât de maniere que le bord de sa voile qui est au vent, vint se rendre à cette parallele. On continueroit enfin de cette sorte, en multipliant les mâts, jusqu'à ce qu'il y en eût assez pour que l'effort total du vent s'exerçât sur une direction parfaitement oposée à celle du choc de l'eau; ou ce qui revient au même, pour que toutes les voiles se trouvassent en équilibre de part & d'autre du point de la quille par lequel passe l'axe de ce dernier choc. Il est évident que cette disposition oblige d'augmenter le nombre des mâts ou des voiles à mesure qu'on diminue la largeur du Navire: lorsque cette largeur étoit fort grande, trois mâts ou même deux suffisoient; mais il faudroit en augmenter le nombre à l'infini, si on pouvoit rendre les Navires infiniment étroits. Fig. 90.

CHAPITRE II.

De la figure qu'il faudroit donner aux Vaisseaux pour qu'ils gouvernassent parfaitement bien par le moyen des voiles.

I.

IL nous faut examiner maintenant les accidens qui doivent arriver au Vaisseau, lorsqu'on altere l'équilibre entre ses voiles; soit lorsqu'on en serre quelqu'une, soit lorsqu'on en expose au vent quelqu'une de plus: il est clair que le Navire doit changer de route en obéissant au plus grand effort. C'est l'art de le faire ainsi tourner en toutes sortes de sens qui constituë la partie de la Manœuvre que les Officiers cultivent avec le plus de soin; parce qu'elle leur est d'une nécessité absoluë dans les combats; & c'est cette même partie qui a été traitée avec succès par le P. Hoste. Il semble que le retranchement ou l'addition d'une voile doit infailliblement produire cet effet, de faire tourner entierement le Navire; de même qu'aussi-tôt qu'on touche un peu à un des poids qui sont en équilibre, on fait trebucher la balance. Mais le Vaisseau n'est pas toujours dans une parfaite indifférence à se tourner dans toutes sortes de sens, & cela parce qu'il affecte de lui-même une certaine situation par raport au choc de l'eau. C'est ce qui trouble les regles, & ce qui empêche souvent l'effet auquel on s'attendoit, faute d'avoir présente cette considération.

Au lieu d'une seule voile, suposons que toutes les voiles soient serrées & qu'elles le soient tout à coup. Il est évident que le Navire ne continuera pas à avancer sur la même ligne jusqu'à la derniere extinction de son mouvement: comme la direction IC (Fig. 90.) du choc de l'eau sur la prouë passera en avant du centre de gravité G, la

Fig. 90.

prouë

prouë flechira d'abord ; & le Navire tournera en presentant la prouë A un peu plus au vent. Ce premier effet du choc de l'eau eſt infaillible ; mais il en arrivera un tout contraire un inſtant après. Le Vaiſſeau par ſon détour donnera occaſion à l'eau de fraper toute la partie poſtérieure de la carène ou toute la partie du flanc qui eſt du côté de la poupe, & cette impulſion fera revenir le Vaiſſeau avec force & avec viteſſe à ſa premiere ſituation, & le fera paſſer au-delà. Ce ſecond mouvement, quoique tout-à-fait contraire au premier, en eſt cependant une ſuite & un effet : car ſi le Vaiſſeau ne tournoit pas d'abord dans le premier ſens & marchoit toujours préciſément ſur la même ligne, l'eau ne fraperoit que les mêmes parties de la carène. Mais ce qu'il y a encore de plus embarraſſant, & ce qui étonne tous les jours les Marins, qui voyent quelquefois que leur Navire gouverne & que quelquefois il ne gouverne pas ; c'eſt que le ſecond effet ne ſuit le premier, que lorſque le premier a été porté juſques à un certain terme ; & cela dépend non-ſeulement du plus ou du moins de promptitude avec lequel on a operé le changement des voiles ; mais auſſi de l'inſtant précis auquel on l'a fait. Fig. 90.

II.

Il eſt clair que le moyen infaillible & l'unique moyen de remedier à cet inconvenient, c'eſt de faire enſorte que la direction IC du choc de l'eau dans les routes obliques, paſſe toujours exactement par le centre de gravite G. Alors le choc de l'eau ne tendra plus à faire tourner le Navire, lequel étant dans une parfaite indifference pour tous les états, obéira avec facilité à tous les divers mouvemens qu'on voudra lui imprimer. C'eſt ce qui a mis les Conſtructeurs dans la néceſſité de groſſir l'avant de leur Vaiſſeau, quoiqu'ils alleguent un autre motif & même fort different de cet uſage. Tant que la prouë A a été fort aiguë & de même longueur que la poupe, il eſt arrivé dans les premieres routes obliques, ou lorſque le Navire a ſuivi une ligne GH peu differente de la quille, que la direction IC, ſelon laquelle s'eſt exercé le choc de l'eau contre la prouë

Digitized by Google

& contre le flanc de la carène, a été fort éloignée du centre de gravité G: & le choc de l'eau a donc fait un continuel effort,& un effort fort grand, pour faire tourner le Navire. Mais aussi-tôt que la prouë a été racourcie ou renduë plus grosse, comme dans la Fig. 91; la direction IC s'est raprochée du centre de gravité; en même tems que ce point a fait aussi quelque chemin vers l'avant, & la direction IC passant ensuite par le centre de gravité ou à peu de distance de ce point; quelque grand qu'ait été le choc de l'eau, il n'a presque point travaillé à faire tourner le Navire d'un côté ou d'autre. Cette force est toujours opposée au mouvement du sillage,comme cela ne pouvoit pas manquer d'arriver dans un milieu résistant: mais son opposition n'a que peu blessé l'indifférence parfaite du Vaisseau à l'égard d'une situation ou d'une autre.

Fig. 90. & 91.

Fig. 91. Quelquefois dans les routes obliques, lorsque nos Vaisseaux s'inclinent beaucoup, la partie actuellement sumergée de leur carène se trouve avoir une figure fort irréguliere. Le haut de la prouë étant plus renflé que le bas, le côté de l'inclinason devient plus gros, & l'autre au contraire devient plus maigre; de sorte que la partie sumergée prend alors la figure B*i*A*k*. Cette irrégularité étant cause que le côté de la prouë vers *i* reçoit plus d'impulsion, & que cette impulsion a pour direction une ligne presque perpendiculaire à la quille, produit presque toujours le même effet, que lorsque la prouë est trop aiguë; & la direction IC du choc se transportant en *ic*, se trouve à une plus grande distance du centre de gravité G. C'est par cette raison que la plus grande partie de nos Vaisseaux sont *raviers* ou qu'ils ont trop de facilité à venir au vent. Aussitôt qu'ils s'inclinent beaucoup, le choc de l'eau selon la direction *ic* agissant avec une grande force relative ou un grand moment, la prouë doit céder, & doit avancer du côté du vent vers V. Presque tous les Marins attribuent cet effet à la hauteur de la poupe qui sert de voile & qui est jettée sous le vent par son impulsion. Mais il faut certainement que cet effet ait une autre cause & qu'il ait

celle que nous disons, puisqu'il a également lieu dans les Chaloupes.

Quoiqu'on doive regarder cette disposition comme un défaut, aussi-tôt qu'elle va trop loin, on peut néanmoins en tirer parti, & c'est ce qu'il seroit à propos que tous les Marins sçussent. M. de Radoüay dans une rencontre très-pressante, fit heureusement usage de cette remarque, qui est dûë à M. le Chevalier de Goyon. Son Navire se perdoit infailliblement, à ce qu'il nous assure, si pour le faire *arriver* ou obéïr aux voiles de la prouë en tournant, il n'avoit fait passer la plus grande partie de son équipage du côté du vent, pour faire diminuer l'inclinaison de l'autre côté. Lorsqu'on veut qu'un Navire qui fait route & qui ne sent pas assez son gouvernail, se détourne vers la droite ou vers la gauche, il faut toujours, vû les gabaris qu'employent actuellement les Constructeurs, le faire incliner davantage du côté oposé, soit par le poid de l'équipge, soit par quelqu'autre poids considérable dont on puisse se servir avec promptitude. C'est ce que M. le Chevalier de Goyon avoit remarqué par cette sagacité naturelle dont nous avons déja parlé, avec laquelle il faisoit sans cesse de nouvelles tentatives dans les Vaisseaux qu'il commandoit; & on voit maintenant la raison assez cachée de cette pratique singuliere. On voit aussi qu'elle ne doit réussir que dans les Vaisseaux d'une certaine forme qu'il sera toujours facile de distinguer, aussi-tôt qu'on sçaura déterminer la direction du choc de l'eau sur la prouë: d'autres Navires pourroient avoir la propriété toute oposée.

Pour revenir à la grosseur de la prouë, il est certain que l'expérience, quoique grossiere, a tellement ici devancé la spéculation que si les Constructeurs se sont trompés sur le droit, ils ne se sont pas au moins trompés sur le fait, & qu'ils ont eu raison de grossir l'avant du Navire; quoiqu'il ne soit point vrai qu'il fende ensuite l'eau avec plus de facilité. Ils ont raporté pour prouver une prétention si étrange l'exemple des poissons qui sont effectivement toujours plus gros par la tête que par la queuë; ils ont

adjouté que lorſqu'on remorquoit un mât, on le faiſoit toujours aller le gros bout le premier. Ces pretenduës raiſons ont eu aſſez de crédit pour ſe faire adopter par quelques Mathématiciens, qui n'ont pas remarqué que lorſque l'Auteur de la nature a créé les poiſſons, il a voulu en faire des animaux; qu'il a voulu leur donner une tête, un eſtomac, &c. & qu'il n'eſt nullement certain qu'ils ayent la forme la plus propre pour fendre l'eau, puiſque cet avantage a pû être ſacrifié en partie à quelqu'autre que nous ne connoiſſons pas. Le mât qu'on remorque ne prouve encore rien: j'ai toujours remarqué qu'on ne ſe déterminoit à faire avancer l'extrémité la plus groſſe la premiere, qu'afin que le cordage qui étoit lié ſur le mât, ne gliſſat pas. Mais enfin nous pouvons concilier tout; en diſant qu'il eſt à propos de donner à la prouë une certaine groſſeur & preſque toujours plus de groſſeur qu'à la poupe, non pas afin que le Vaiſſeau ſingle mieux; car nous ſommes ſurs que c'eſt tout le contraire, mais afin qu'il gouverne avec plus de facilité. Il faut malheureuſement renoncer un peu au premier de ces avantages pour jouir un peu plus de l'autre; & comme nous n'avons pas l'art de les balancer, parce qu'ils ſont de différens genres, nous ſommes obligés d'apprendre de l'expérience, le partage le plus convenable qu'on peut faire entr'eux.

III.

Cela ne nous empêchera pas d'indiquer ici ou de chercher quelques figures qui doivent avoir la propriété parfaite de bien gouverner. On doit mettre dans le premier rang, les Navires qui ont la forme d'un parallelipipede rectangle, comme l'Arche de Noé, tels que ſont à peu près les Navires Chinois. Car la direction du choc de l'eau ſur tous les côtés de la carène, paſſe par le centre de gravité, & laiſſe par conſéquent le Navire à lui-même ou dans une parfaite indifference. Ce doit être la même choſe dans les routes obliques que dans la route directe. La direction du choc de l'eau paſſant toujours exactement par le même

Digitized by Google

point, cette force ne tend à alterer la situation du Navire ni d'un côté ni de l'autre; & aussi-tôt donc qu'on touche aux voiles de l'avant ou de l'arriere, rien n'empêche le Vaisseau de tourner & d'obeïr. On ne compte pas ici pour un obstacle la pesanteur du Vaisseau ou plûtôt son inertie ou cette force de persistance dont nous avons eu occasion de parler à la fin du livre précédent; car elle ne résiste qu'à proportion qu'elle se laisse vaincre: nous aurons cependant le soin d'examiner attentivement ses effets. Mais d'un autre côté la figure d'un parallelipipede rectangle n'est pas propre pour le sillage, en même tems qu'elle est sujette à une grande dérive; & on peut dire la même chose de toutes les autres formes qui donneront au Vaisseau l'avantage de mieux gouverner.

On s'en convaincra parfaitement, en considerant un Navire dont l'avant & l'arriere soient coniques, tels que les représente la figure 92. Lorsque nous suposons que la prouë est un cone, ce n'est pas dans le seul dessein de rendre nos recherches plus simples, c'est parce que cette figure ne différe pas extrémement de celle qui fend l'eau avec la plus grande facilité. Si on partage par la pensée la surface de cette prouë FEAD en une infinité de triangles, comme FAf, dont la pointe soit au sommet A du cone, le choc de l'eau sur chaque de ces triangles, se réunira dans son centre de gravité I qui sera au tiers de sa hauteur; & si on éleve de chaque de ces centres des perpendiculaires IC à la surface des triangles, elles représenteront les directions particulieres du choc, & elles viendront toutes rencontrer l'axe AB dans un même point C. Pour déterminer la distance AC de ce point à l'extrémité A de la prouë, il n'y a qu'à considérer que les triangles rectangles FHA & CIA sont semblables, & faire cette analogie; AH est à AF comme AI, qui est les deux tiers de AF, est à AC. Ainsi nommant a la longueur AH de la prouë, & x la demie largeur FH, ce qui nous donnera $AF = \sqrt{a^2 + x^2}$, nous aurons en caracteres algébriques $\frac{2a^2 + 2x^2}{3a}$ pour la valeur de AC.

Fig. 92.

Digitized by Google

Fig. 92. Il n'eſt donc maintenant queſtion, ſi l'on veut donner au Navire AB formé de deux demi-cones, la proprieté complete de bien gouverner, que de faire enſorte que le centre de gravité C du tout, ſoit à la même diſtance $\frac{2a^2+2x^2}{3a}$ du point A. Le centre de gravité particulier de chaque cone eſt au quart de ſa hauteur, comme on le prouve en Mécanique : le point K eſt le centre de gravité du cone de la prouë, & L le centre de gravité du cone de la poupe ; & HK eſt le quart de HA, de même que HL eſt le quart de HB. Le centre de gravité commun C du tout partage la diſtance LK d'un centre de gravité particulier à l'autre reciproquement aux ſolidités des deux cones, qui à cauſe de la même baſe, ſont en même raiſon que les axes HA & HB, & que leurs mêmes parties aliquotes HK & HL. Ainſi il n'y a qu'à tranſporter HK en LC, ou HL en KC, & nous aurons en C le centre de gravité commun ; c'eſt-à-dire, que ſi nous nommons y toute la longueur AB du Navire, ce qui nous donnera $y-a$ pour HB, nous n'avons qu'à joindre le quart $\frac{1}{4}y-\frac{1}{4}a$ de HB, avec AK $=\frac{3}{4}a$, & il nous viendra $\frac{1}{4}y+\frac{1}{2}a$ pour la diſtance CA du centre de gravité C à l'extrémité A de la prouë. Or c'eſt cette diſtance qui doit être égale à $\frac{2a^2+2x^2}{3a}$, puiſqu'on veut que le centre de gravité concoure avec le point C où la direction du choc de l'eau coupe l'axe AB ; nous avons donc l'équation $\frac{1}{4}y+\frac{1}{2}a=\frac{2a^2+2x^2}{3a}$. Supoſé maintenant que le raport de la longueur AB du Navire à la largeur DF ſoit donné & exprimé par m & n, nous pouvons faire cette analogie, $m|n||y|2x$, & nous obtiendrons l'équation $2mx=ny$ qu'il ne reſte plus qu'à introduire dans l'autre, pour avoir $\frac{mx}{2n}+\frac{1}{2}a=\frac{2a^2+2x^2}{3a}$. Mais on tire de cette derniere la *formule* $x=\frac{3ma}{8n}\pm a\sqrt{\frac{9m^2-16n^2}{64n^2}}$ qui nous aprend la relation de la longueur a de la prouë à la demie largeur HD ou HF.

Dans les cas où la longueur du Navire ſera triple de ſa

largeur, on aura à la place de m & de n les nombres 3 & Fig. 92.
1, & la formule précédente se réduira à $x = \frac{9}{8} a + a \sqrt{\frac{65}{64}}$. Suposé que a ou HA soit de 100 parties, la demie largeur HD ou HF sera d'environ 212 $\frac{3}{4}$, & l'angle CAF de presque 65 degrés. L'angle DAF qui est double, sera de plus de 129; & on juge assez qu'une prouë si obtuse éprouveroit de la part de l'eau une très-grande résistance; elle en éprouveroit presque deux fois plus, que la prouë des Flutes construites le plus grossierement.

Ainsi il n'est que trop vrai qu'il y a une espece d'incompatibilité entre les deux proprietés du Navire, de bien gouverner par le moyen des voiles & de bien marcher, & qu'il faut, comme nous l'avons dit, renoncer un peu à l'une, afin de ne pas perdre tout-à-fait l'autre. Il est déja comme décidé que les Vaisseaux du premier & du second rang ne doivent pas disputer la promptitude du sillage aux Frégates, & qu'ils ne sont pas destinés à les poursuivre. Leur principal usage est de naviger en corps d'Armée, & de combattre en ligne. Ainsi on peut sans inconvenient être attentif à leur donner l'avantage de bien gouverner, en avançant un peu plus leur plus grande largeur ou leur centre de gravité vers la prouë. Dans les Frégates on exige au contraire la promptitude de la marche; il faut donc ne pas faire la prouë si obtuse, & reculer un peu plus vers l'arriere la plus grande largeur; ce qui fera aussi qu'elles dériveront moins. Mais ce changement ne doit jamais être que peu considérable, & tout au plus que d'une vingtquatriéme partie de toute la longueur du Vaisseau; afin de ne pas trop préjudicier à quelques unes des autres proprietés.

CHAPITRE III.

De l'endroit où le Vaiſſeau doit avoir ſa plus grande largeur, pour être plus ſenſible à l'effet du Gouvernail.

I.

LORSQU'IL ne s'agit pas de changer de route & qu'on veut ſimplement faire revenir le Vaiſſeau à ſa premiere direction, dont le choc irregulier des vagues l'avoit détourné, on ne ſe ſert que du Gouvernail. La Mer étant continuellement agitée, l'équilibre ſe trouve ſans ceſſe alteré, & il faut pour le rétablir faire un uſage continuel de cet inſtrument. Le Navire ſe meut en effet preſque toujours par élans ; on le fait revenir inutilement à ſa vraie route, ſon mouvement le tranſporte de l'autre côté ; ce qui met les *Timoniers* dans un travail qui ne ceſſe jamais. Nous allons examiner l'endroit du Navire, où il faut mettre ſa plus grande largeur, pour que ſa propre peſanteur ou ſon inertie favoriſe l'action du gouvernail le plus qu'il eſt poſſible.

Pluſieurs Mécaniciens ont déja découvert que lors qu'une puiſſance apliquée à l'extrémité d'une verge également peſante par tout, travaille à la faire tourner, cette verge tourne ſur un point qui eſt aux deux tiers de ſa longueur ; & nos Auteurs de Marine, ſans remarquer que le cas pouvoit être différent, ſe ſont hâtés d'en inférer que l'endroit le plus gros & le plus peſant du Vaiſſeau, devoit être au tiers de ſa longueur vers la prouë. C'eſt vers cet endroit qu'on a mis pendant long-tems la plus grande largeur du Navire ; d'où on ne l'a depuis reculée peu à peu vers le milieu, qu'afin de rendre la prouë plus aiguë & de diminuer la réſiſtance de l'eau. Mais il eſt certain qu'on a encore

Digitized by Google

encore aidé par ce changement l'action du gouvernail; & que c'est ici une de ces circonstances où on a mieux fait de se laisser absolument conduire par l'expérience, que de s'en raporter à une Théorie demeurée imparfaite, parce qu'elle n'avoit pas été poussée assez loin.

II.

Afin de mieux représenter le Vaisseau & son mouvement de tournoyement, nous nous imaginerons que la regle AB (Fig. 93.) est chargée d'un poids en D. Nous chercherons d'abord sur quel point C elle doit tourner, lorsqu'une puissance apliquée en B pousse son extrémité de B en *b*; nous ferons ensuite changer le poids D de place en le faisant glisser le long de la verge, & nous chercherons en quel endroit il faut l'arrêter, pour que l'angle de conversion BC*b* devienne un *maximum*, quoique la puissance qui agit en B soit toujours la même. Lorsque la regle AB tourne sur le point C, chaque de ses parties prend plus ou moins de mouvement, selon qu'elle est plus ou moins éloignée de ce point, & l'*inertie* ou la force de persistence de toutes les parties BC fait le même effet qu'une puissance qui agiroit selon EF dans le sens contraire au mouvement; en même tems que l'*inertie* des parties CA fait le même effet qu'une puissance qui agissant dans le point K, auroit KH pour direction. Or ces deux puissances doivent faire équilibre avec la puissance apliquée en B, qui produit tout le mouvement. Cette derniere puissance communique plus de vitesse au point B qu'à tous les autres qui restent en arriere par leur inertie; & l'obstacle que les parties de BC mettent à recevoir du mouvement, fait que la verge tourne sur le point C, & que l'extrémité CA se meut dans un sens contraire. Il est clair après cela, en y faisant un peu de reflexion, qu'il n'y a qu'un équilibre parfait entre la résistance que cause l'inertie des deux parties CA, CB, & la puissance apliquée en B, qui puisse empêcher la verge, ou de recevoir plus de mouvement, ou de tourner

Fig. 93.

Fig. 93. ſur un autre point. Nous ne mettrons point par tout ici, au nombre des obſtacles au mouvement de la regle, la réſiſtance que peut faire le milieu : car comme il ne s'agit que du ſeul commencement du mouvement, ou des premiers degrés de viteſſe qui ſont, ſi on le veut, infiniment petits, la réſiſtance du milieu doit être nulle.

Chaque partie de BC recevant un mouvement proportionel à ſa diſtance au point C, nous pouvons repréſenter le mouvement de tout BC par le triangle BC*b*; & le mouvement de tous les points de l'autre portion CA par le triangle AC*a*. Chaque point réſiſte à proportion du mouvement qu'il prend; de ſorte que les deux triangles BC*b* & AC*a* ne repréſentent pas moins les quantités de la réſiſtance que les quantités du mouvement. Si on conſidere de plus chaque de ces réſiſtances, comme réunie dans un ſeul point, ce ſera dans le centre de gravité de chaque triangle qui la repréſente, & ce ſera par conſéquent en E & en K aux deux tiers de CB & de CA, à commencer au centre de converſion. Mais puiſque la réſiſtance de BC ſelon EF, produit le mouvement de CA, & que nous pouvons prendre le point B pour hypomoclion, parce que l'équilibre eſt parfait entre la puiſſance appliquée en B & les deux réſiſtances qui s'exercent ſelon EF & KH; il eſt évident que la réſiſtance de BC multipliée par BE, doit être égale à la quantité du mouvement que reçoit CA multipliée par BK. Il eſt ordinairement plus naturel de prendre pour hypomoclion le point du levier qui ne change point de place ; & on y eſt obligé lorſque le point d'apui eſt inébranlable, & lorſqu'il eſt capable d'ailleurs de toute la force qui eſt néceſſaire : mais dans l'équilibre parfait de trois ou d'un plus grand nombre de puiſſances qui ſuſpendent totalement l'effet les unes des autres, on peut toujours faire ſervir laquelle de ces puiſſances on veut d'hypomoclion, comme il eſt facile de s'en aſſurer. Il y a même preſque toujours de la commodité à en préferer une ; parce que ſon moment ſe trouvant enſuite nul, on eſt diſpenſé d'y avoir égard. Plaçant dans la recherche

presente l'hypomoclion en B, le moment de la résistance Fig. 93.
de BC est égal au moment du mouvement de CA, & il n'y a rien à considerer de plus, lorsqu'il n'y a point de poids en D: mais il est clair que la résistance que forme le mouvement de ce corps, doit aider ici à celle de la partie BC.

III.

Cela suposé, nous n'avons qu'à nommer a la longueur de toute la regle AB, & representer sa pesanteur par la même lettre. Si nous nommons en même tems b la pesanteur du corps D; m sa distance BD à l'extrémité B; u la vitesse Bb, & enfin x la distance BC du centre de conversion à la même extrémité : nous aurons $\frac{1}{2}xu$ pour l'étenduë du triangle CBb, & $\overline{\frac{1}{2}a - \frac{1}{2}x} \times \frac{u \times \overline{a - x}}{x}$ moitié du produit de CA $= a - x$ par A$a = \frac{u \times \overline{a - x}}{x}$ pour celle du triangle ACa. Et si nous multiplions la premiere par BE $= \frac{1}{3}x$ & la seconde par BK (= BA — AK) $= \frac{2}{3}a + \frac{1}{3}x$, nous aurons les momens $\frac{1}{6}x^2u$ & $\overline{\frac{1}{3}a^3 - \frac{1}{2}a^2x + \frac{1}{6}x^3} \times \frac{u}{x}$ qui seroient égaux; sans qu'il faut joindre au premier le moment de la résistance du corps D. Nous aurons d'abord la vitesse de ce corps par cette analogie BC $= x$ | B$b = u$ || DC $= x - m$ | $\overline{x - m} \times \frac{u}{x}$; multipliant ensuite cette vitesse pat la pesanteur b, nous aurons $\overline{x - m} \times \frac{bu}{x}$ pour la quantité du mouvement de ce corps & de la résistance que produit son inertie, & multipliant cette résistance par BD $= m$, nous en aurons le moment $\overline{bmx - bm^2} \times \frac{u}{x}$, qui doit être ajoutée au moment $\frac{1}{6}x^2u$ de la résistance de la partie BC; & nous aurons l'équation $\overline{bmx - bm^2} \times \frac{u}{x} + \frac{1}{6}x^2u = \overline{\frac{1}{3}a^3 - \frac{1}{2}a^2x + \frac{1}{6}x^3} \times \frac{u}{x}$ dont nous tirons la formule $x = \frac{\frac{1}{3}a^3 + bm^2}{\frac{1}{2}a^2 + bm}$ qui nous aprend en termes connus, com-

Fig. 93. bien le centre de converſion C eſt éloigné de l'extrémité B de la verge AB.

I V.

On peut faire différentes remarques ſur cette formule : on voit, par exemple, qu'il y a deux cas où le corps D, quelque peſant qu'il ſoit, n'empêche pas le centre de converſion d'être aux deux tiers de la regle : c'eſt lorſqu'il eſt à l'extrémité B, à laquelle la puiſſance motrice eſt apliquée, ou lorſqu'il eſt dans le centre de converſion même aux deux tiers de la regle. Car qu'on ſupoſe $m = o$, ou $m = \frac{2}{3} a$, la quantité $x = \frac{\frac{1}{3} a^3 + bm^2}{\frac{1}{2} a^2 + bm}$ ſe reduit alors également à $x = \frac{2}{3} a$; ſans qu'il importe que la peſanteur b du corps D ſoit d'une grandeur ou d'une petiteſſe énorme par raport à celle de la regle : ce que la formule nous indique, eſt d'ailleurs évident. Mais il eſt maintenant queſtion de chercher pour chaque poſition que peut avoir le poids D, la quantité de l'angle de converſion BCb. Nous repréſenterons pour cela la puiſſance qui agit en B par le mouvement d'un corps d'une peſanteur ou d'une maſſe connuë p qui vient fraper l'extrémité B avec une viteſſe conſtante V, & nous ſupoſerons que le choc ſe fait à la maniere des corps abſolument dénués d'élaſticité; c'eſt-à-dire, que nous conſidererons le corps & la regle, ou comme mols ou comme infiniment durs : car c'eſt la même choſe, lorſqu'il s'agit de la communication des mouvemens.

La quantité de mouvement que reçoit la regle eſt le produit de ſa maſſe ou de ſa peſanteur a par la viteſſe que prend ſon centre de gravité qui eſt au milieu M de ſa longueur. Certaines parties ſe meuvent plus vite; d'autres plus lentement; mais la viteſſe du centre de gravité, eſt la viteſſe moyenne, & on peut toujours ſans ſe tromper l'attribuer à tout le corps. Ainſi nous n'avons qu'à faire cette analogie ; $BC = x \mid Bb = u \mid\mid CM = x - \frac{1}{2} a \mid u - \frac{au}{2x}$, nous au-

rons $u - \frac{au}{2x}$ pour la viteſſe que prend la verge, & la multipliant par a, nous aurons $au - \frac{a^2u}{2x}$ pour la quantité de mouvemeut reçûë. Nous avons déja trouvé la quantité de mouvement reçûë par le corps D; c'eſt $bu - \frac{bmu}{x}$, qu'il n'y a qu'à ajouter à celui de la regle, & nous aurons le mouvement total $au + bu - \frac{a^2u}{2x} - \frac{bmu}{x}$ communiqué par la puiſſance qui agit en B. Or ce dernier mouvement doit être égal à celui qu'à perdu la puiſſance ou le corps p qui la repréſente, & qui n'a après le choc que la viteſſe u, au lieu qu'il avoit auparavant la viteſſe V. Cette égalité doit être parfaite : car ce n'eſt pas ici le cas où un obſtacle inébranlable, qui ſert d'hypomoclion, abſorbe quelquefois une partie du mouvement; toute la regle ſe meut ou peut ſe mouvoir, & le mouvement ſe fait outre cela dans le ſens perpendiculaire à ſa longueur, ou dans le même ſens qu'agit la puiſſance B, ſans qu'il y ait aucune réduction ou décompoſition de force à faire. Fig. 93.

Pour mieux s'en convaincre, on n'a qu'à conſiderer que lorſqu'un corps vient fraper une regle dans un certain point, le centre de mouvement que reçoit cette regle, & en même tems tous les poids dont elle eſt chargée, ſe trouve néceſſairement dans le point frapé. Car il faut toujours que le mouvement de la regle ſoit en équilibre de part & d'autre de ce point; autrement une des extrémités de la regle prendroit plus ou moins de viteſſe : ou pour dire encore la même choſe en d'autres termes, le point frapé doit toujours devenir le centre de percuſſion de la regle en mouvement & de ſes poids. Ainſi la direction moyenne ſur laquelle s'exerçoit le mouvement perdu du corps choquant, ne differe pas de la direction du mouvement acquis de la regle, c'eſt préciſement la même ligne. Supoſé donc qu'on prenne pour hypomoclion le point ſur lequel tourne la regle, ou qu'on prenne tout autre point imaginable, les deux directions en ſeront toujours également éloignées, &

Fig. 93. par conséquent les deux forces ne peuvent pas manquer d'être exactement égales ; le mouvement perdu d'un des corps, & le mouvement acquis de l'autre. Il suit de là que pV désignant le mouvement qu'avoit d'abord le corps p, & pu celui qui lui reste, son mouvement perdu sera désigné par $pV - pu$; & que nous aurons l'équation $pV - pu = au + bu - \frac{a^2 u}{2x} - \frac{bmu}{x}$ dont on tire $u = \frac{pVx}{\overline{a+b+p} \times x - \frac{1}{2}a^2 - bm}$. Formule qui nous marque en grandeurs entierement connuës, puisque nous avons déja trouvé x, la quantité de la vitesse u que prend l'extrémité B de la verge.

V.

Mais nous ne devons pas faire de cette vitesse l'unique objet de notre recherche ; c'est l'angle de conversion BCb qu'il s'agit maintenant de découvrir ; & il est évident que la grandeur de cet angle dépend de la grandeur de la vitesse Bb, & de la petitesse de BC. Plus la vitesse Bb sera grande, tout le reste étant égal, plus l'angle BCb sera grand ; & ce même angle sera encore plus grand, plus la distance BC où les deux côtés qui forment l'angle, vont se rencontrer, sera petite. Cet angle peut donc être représenté par Bb divisée par BC ; & nous aurons pour son expression algébrique $\frac{u}{x} = \frac{pV}{\overline{a+b+p} \times x - \frac{1}{2}a^2 - bm}$ qui se change en $\frac{pV \times \overline{\frac{1}{2}a^2 + bm}}{\frac{1}{12}a^4 + \frac{1}{3}a^3 b + \frac{1}{3}a^3 p - a^2 bm + bpm^2 + abm^2}$, lorsqu'on introduit $\frac{\frac{1}{3}a^3 + bm^2}{\frac{1}{2}a^2 + bm}$ à la place de x. Il ne nous reste plus après cela qu'à rendre cette quantité un *plus grand*, en suposant m variable. Je prens la différentielle de cette quantité, & l'égalant à zéro, selon les regles ordinaires, il vient $\left. \begin{matrix} + ab^2 \\ + b^2 p \end{matrix} \right\} m^2 \left. \begin{matrix} + a^3 b \\ + a^2 bp \end{matrix} \right\} m = \frac{7}{12} a^4 b + \frac{1}{3} a^3 b^2 + \frac{1}{3} a^3 bp$ qui contient la valeur de m qu'on vouloit découvrir, ou la distance BD à laquelle il faut arrêter le poids D, pour que la verge BA tourne avec le plus de facilité qu'il est possible.

Si on ſupoſe que le mobile qui frape l'extrémité B de la regle, eſt d'une petiteſſe indéfinie, & que ſon action ne ſoit ſenſible que parce qu'elle eſt repetée une infinité de fois, comme cela arrive effectivement à celle de l'eau contre le gouvernail, il faut effacer tous les termes qui contiennent p, & on aura $bm^2 + a^2m = \frac{7}{12}a^3 + \frac{1}{3}a^2b$, dont on tire $m = -\frac{a^2}{2b} \pm \sqrt{\frac{a^4}{4b^2} + \frac{7a^3}{12b} + \frac{1}{3}a^2}$. Veut-on maintenant que le poids b du corps D ſoit énorme par raport à la peſanteur a de la regle; nous aurons $m = a\sqrt{\frac{1}{3}}$; de ſorte que ſi la longueur AB eſt de 100 parties, il faudra mettre le poids D à preſque 58 parties de diſtance de l'extrémité B. Le poids D au contraire eſt-il infiniment petit, nous aurons $m = \frac{7}{12}a$; de ſorte que ſi ce corps étoit capable de quelque effet, pendant qu'il eſt infiniment petit, il faudroit le mettre à $58\frac{1}{3}$ parties. Ce ſera encore à peu près la même choſe, ſi on ſupoſe le poids D égal à celui de la regle; car on aura $m = -\frac{1}{2}a \pm a\sqrt{\frac{7}{6}}$ qui eſt égal à très-peu près aux $\frac{7}{12}$ de BA. Or on peut inférer de-là que la plus grande largeur des Vaiſſeaux pour qu'ils puiſſent mieux ſentir le gouvernail, *ne doit pas être au milieu de leur longueur ni auſſi tout-à-fait aux deux tiers; mais à peu près entre ces deux points, ou à environ une douziéme partie de toute la longueur plus en avant que le milieu.* Nous diſons que le Vaiſſeau doit avoir ſa plus grande groſſeur dans cet endroit & non pas ſon centre de gravité. Car excepté le cas qui n'a jamais ſon aplication, où le poids D eſt infiniment grand, par raport à la peſanteur de la regle BA, le centre de gravité du tout eſt toujours entre le point D & le milieu de la regle; & lors qu'on mettra la plus grande largeur du Navire D vis-à-vis des cinq douziémes de ſa longueur à commencer de la prouë A, le centre de gravité ſera auſſi toujours plus vers le milieu. Fig. 93.

VI.

Il eſt vrai que la plus grande largeur ne ſera pas dans l'endroit où il faut qu'elle ſoit pour ſatisfaire à la condition

Fig. 93. que nous avons taché de remplir dans le Chapitre précédent : mais il faut toujours se souvenir qu'il n'est pas possible de concilier les quatre divers avantages qu'on peut avoir actuellement en vûë ; & que ce n'est pas non plus ici le même cas qu'en Geométrie, lorsqu'il s'agit des quantités qu'on nomme *maximum maximorum*. Là le changement de certaines conditions faisant augmenter une grandeur, & la rendant un *maximum*, le changement de quelques autres conditions qui se joignent aux premieres, fait encore croître la grandeur & la même grandeur. Ainsi il n'y a qu'à combiner toutes les conditions ou les équations qui les représentent, pour obtenir le *maximum maximorum*. C'est tout le contraire dans les Problêmes qui sont maintenant l'objet de notre recherche. Il s'agit de *maximum* de genres tout différens, & qui se nuisent par leur contrarieté. Si nous voulons conserver au Vaisseau cette indifférence de situation qui fait qu'il gouverne aisément par le moyen des voiles, il faut porter sa plus grande largeur beaucoup plus vers la prouë ; mais alors nous ferons tort à la proprieté qu'il doit avoir d'être sensible au gouvernail, de même qu'à celle de singler avec promptitude, & à celle d'être sujet à peu de dérive ou de déviation dans les routes obliques. Nous avons montré dans la premiere Section que ces deux dernieres proprietés vont toujours ensemble : d'abord elles sont jointes aussi, pour ainsi dire, d'interêt avec celle que doit avoir le Vaisseau d'obéir aisément au gouvernail, mais elles s'en séparent à la fin ; puisque pour faire accelerer de plus en plus le sillage, de même que pour rendre la dérive de plus petite en plus petite, il faudroit porter la plus grande largeur beaucoup plus en arriere qu'aux cinq douziémes de la longueur du Navire, à commencer de l'extrémité de la prouë. On est obligé encore une fois de se prêter plus ou moins à l'une ou à l'autre des quatre conditions, selon les usages ausquels on destine les Navires ; & on pourra pour cela, ainsi que nous en avons déja averti à la fin du Chapitre précédent, avancer ou reculer la plus grande largeur d'une vingt-

vingt-quatriéme partie. Au reste quoiqu'il soit clair qu'on ne doive pas trop presser la comparaison entre le Vaisseau & la regle ou verge pesante; comme on voit néanmoins que les masses ou les pesanteurs les plus différentes qu'on attribuë au poids qui la charge, ne font changer que très-peu le point le plus avantageux où il faut l'apliquer, on a ici une forte confirmation, de ce que l'expérience seule, mais aidée d'un long tâtonnement, avoit déja réussi à déterminer.

CHAPITRE IV.

Méthode de reconnoître si un Vaisseau qu'on se propose de construire gouvernera avec facilité ; ou examen du mouvement que doit prendre un corps que deux puissances tendent à faire tourner en même tems de dex différens côtés.

I.

PUIS qu'on ne doit pas donner aux Vaisseaux la proprieté parfaite de bien gouverner, afin de ne pas trop préjudicier à ses autres qualités ; on doit au moins examiner s'ils la posséderont dans un degré suffisant, pour les usages ordinaires. La question se réduit à sçavoir, lorsque le Navire est exposé au choc du vent & à celui de l'eau, & que ces deux forces ne sont pas directement contraires, laquelle des deux doit prévaloir. Nous représenterons encore le Vaisseau par une regle AB (Fig. 94.) mais à chaque point de laquelle on attribuera la pesanteur qu'on voudra, & nous la suposerons exposée à l'action de deux puissances extérieures qui agissant perpendiculairement à sa longueur, tendent à la faire tourner en différens sens, l'une en s'exerçant selon la direction A*a* & l'autre selon la direction DE. Nous sçavons bien que l'effort du vent sur la voile n'agit pas perpendiculairement à la longueur du Vaisseau, Fig. 94.

Fig. 94. non plus que le choc de l'eau ſur la prouë; mais on peut toujours réduire aiſément ces puiſſances à un effort perpendiculaire, en négligeant la partie qui agit exactement ſelon la longueur du Navire, & qui ne contribuë aucunement à le faire tourner; de cette ſorte la comparaiſon ſera parfaite.

Si les deux puiſſances apliquées en A & en D ſont égales, celle qui ſera la plus éloignée du centre de gravité G de la regle doit dominer infailliblement, & la regle tourner ſur ſon centre de gravité G, par la même raiſon que le Vaiſſeau dans le roulis, fait ſes balancemens autour du même point. La regle AB prenant la ſituation *ab*, toute la partie GA réſiſte par ſon inertie, comme une puiſſance qui agiroit dans le ſens contraire de I en K, conformement à ce que nous avons déja dit tant de fois, & l'inertie de la partie GB, fait le même effet qu'une puiſſance qui s'exerceroit ſelon FH. Or ces deux puiſſances doivent être en équilibre avec les deux forces motrices qui agiſſent ſelon A*a* & ſelon DE; & puiſque ces deux forces motrices ſont égales entr'elles, il faut que les deux autres le ſoient auſſi.* Mais il réſulte de là que les deux parties GA & GB doivent prendre préciſément la même quantité de mouvement, & que toute la regle doit donc tourner ſur ſon centre de gravité.

* Voyez l'article 1. & 3. du Chap. 1. Sect. 3. Liv. 2.

Cette proprieté eſt très-remarquable; qu'auſſi-tôt que les deux puiſſances motrices ſont égales, elles font toujours tourner la regle ſur ſon centre de gravité, ſans qu'il importe en quel endroit elles ſoient apliquées. Il n'y a que la quantité du tournoyement qui dépende de cette derniere circonſtance; car ſi c'eſt une des conditions de l'équilibre que la ſomme des deux forces qui agiſſent d'un côté, ſoit égale à la ſomme des deux autres forces qui agiſſent de l'autre, parce que les directions ſont exactement paralleles, il faut encore qu'il y ait égalité entre les momens; & cette égalité naît du différent raport qu'ont les réſiſtances produites par l'inertie, avec les forces motrices. Lorſque ces deux dernieres forces ſont inégales, les deux réſiſtan-

ces doivent l'être pareillement ; & la regle au lieu de tourner ſur ſon centre de gravité, doit tourner ſur un autre point. De tout cela il naît différens cas qu'on peut diſtinguer, en examinant les circonſtances de l'équilibre qui doit toujours ſe trouver entre les quatre forces qui ſont ici à conſiderer. Mais nous allons diſcuter la choſe d'une maniere plus ſimple & qui aplanira extrémement toutes les difficultés qui peuvent ſe préſenter dans cette recherche.

II.

Nous conſidérerons les deux forces motrices, dont l'action eſt ſimultanée, comme ſi elles agiſſoient l'une après l'autre, en ne mettant que le moindre intervale entre leurs effets ſucceſſifs. On examinera de cette ſorte le tournoyement que chaque puiſſance cauſe à part, & on obtiendra à la fin le réſultat total ou ultérieur. Nous avons pour cela beſoin de deux principes, l'un deſquels nous a déja ſervi & que nous avons éclairci ; ſçavoir, qu'en quelque endroit que ſoit apliquée la puiſſance motrice, le centre de gravité de la regle ou du corps ſur lequel cette puiſſance agit, prend toujours la même viteſſe ; parce que c'eſt le chemin que parcourt ce point qui exprime ou qui repréſente le mouvement que reçoit tout le corps, & que ce mouvement doit être égal à la force employée par la puiſſance motrice ; & conſtament le même, auſſi-tôt que la puiſſance agit avec une viteſſe incomparablement grande par raport à celle que prend le corps dans chaque inſtant. Le ſecond principe, c'eſt que plus la force motrice eſt apliquée proche du centre de gravité de la regle, plus elle la fait tourner ſur un point qui en eſt éloigné, & les deux diſtances ſont toujours en raiſon inverſe l'une de l'autre. Je crois que ce ſecond principe eſt connu des Mécaniciens, & qu'il a même été déja établi, quoique ſous une face différente, par M. Huguens dans ſon Traité *de Horologio oſcillatorio* ; je n'en ſuis cependant pas ſûr, & c'eſt ce que je ne puis vérifier maintenant. On croira ſans peine que

je n'ai dans les deserts & sur les montagnes du Pérou, où je travaille à ce Traité, que les seuls Livres qui me sont absolument nécessaires pour mes opérations actuelles, & que je manque de tous les autres qu'on ne connoît pas même dans le Païs.

III.

* Quoique j'aie vû à mon retour que M. Huguens avoit établi le principe dont il est question, j'ai cru ne devoir rien changer ici.

Fig. 95.

Pour ne pas, dans le doute *, laisser sans quelque explication le principe dont il s'agit, considérons la regle BA (Fig. 95.) pendant qu'elle tourne sur son extrémité B, en prenant la situation B*a*. Chaque de ses points, comme F, recevra une vitesse proportionelle à sa distance au point B; mais comme nous suposons que cette regle n'est pas par tout également pesante, le mouvement de ses parties ne sera pas proportionel à leur vitesse, mais il sera représenté par les ordonnées FH d'une courbe BHA; chaque ordonnée étant égale au produit de la pesanteur du point correspondant par sa vitesse, ou ce qui est la même chose par sa distance à l'extrémité B; & toute l'étenduë curviligne ABHA, qui est la somme de toutes les ordonnées, exprimera le mouvement de toute la regle. Ce mouvement est égal au produit de la masse entiere par la distance GB de son centre de gravité G à l'extrémité B; puisqu'on démontre en Mécanique, que si on fait une somme des produits de toutes les parties d'un corps par leur distance à un point qu'on prend pour terme, cette somme est égale au produit de tout le corps par la distance de son centre de gravité commun, à ce point qui sert de terme.

On peut considerer outre cela le mouvement de toute la regle, réuni dans un centre D, lequel doit differer du centre de gravité G; parce que toutes les parties de la regle, prennent des vitesses différentes; & il est évident que ce centre doit répondre en D, vis-à-vis du centre de gravité E de l'espace curviligne, qui exprime non-seulement la quantité totale du mouvement, mais qui en marque aussi la distribution par ses ordonnées. Or il est clair

que si une puissance pousse la regle perpendiculairement Fig. 95.
dans le point D, elle la fera tourner exactement sur son extrémité B : car aussi-tôt que D est le point dans lequel on peut considerer que tout le mouvement se réunit, les quantités de mouvement que prend la regle de part & d'autre de ce point, doivent se contrebalancer parfaitement, de même que les résistances que cause l'inertie ; au lieu que cet équilibre ne subsisteroit plus si la puissance étant toujours apliquée en D, la regle tournoit sur tout autre point que sur l'extrémité B.

Suposons maintenant que la regle tourne sur le point C, & prenne la situation ba. Alors le mouvement de chaque point, comme F, au lieu d'être proportionel au produit de sa masse par sa distance FB à l'extrémité B, sera proportionel au produit de sa masse par sa distance FC au centre de conversion C ; ainsi pour représenter le mouvement total de la regle, il faut ajouter à la figure mixtiligne ABHA, une autre figure curviligne AHBIA dont les ordonnées, comme HI, soient proportionelles au produit de la masse de chaque point F par la ligne constante BC. La pesanteur de chaque point étant multipliée par la ligne BC ; le centre de gravité g de la figure ajoutée AHBI doit répondre exactement vis-à-vis du centre de gravité G de la regle. Et il est clair que le point K où il faut apliquer la force motrice qui doit faire tourner la regle sur le point C, en la poussant perpendiculairement, doit répondre vis-à-vis du centre de gravité de la figure entiere ABIA, qui représente le mouvement total de la regle. Or pour déterminer ce centre de gravité commun, ou pour déterminer le point K, il n'y a qu'à partager l'intervale GD compris entre les points G & D qui répondent au centre de gravité des deux figures partiales BHAI & BFAH ; il n'y a, dis-je, qu'à partager GD en raison inverse des deux figures ou des deux lignes CB & BG qui sont en même raport que ces deux figures ; puisque l'une est le produit de toute la masse de la regle AB par CB, & l'autre le produit de cette même masse par BG.

Fig. 95. Ainsi si une figure est égale à l'autre, CB sera égale à BG, ou CG double de BG, & le point K étant au milieu de GD, l'intervale GD sera aussi double de GK. Si pareillement la figure partiale BHAI est double de la figure BFAH, la ligne CB sera double de BG, & CG en sera triple; mais le point K étant deux fois plus voisin de G que de D, l'intervale GD, qui est constant, sera aussi triple de GK. En un mot, il y aura toujours même raison, entre KG & KD, qu'entre BG & BC; & il y aura donc aussi même raison entre GK & GD, qu'entre GB & GC; ce qui montre qu'à mesure que le centre de conversion C est plus éloigné du centre de gravité G de la regle, le point K où il faut que la force motrice soit apliquée, est plus proche de l'autre côté du centre de gravité, & qu'il s'en aproche précisément en même raport que le centre de conversion s'en éloigne; de sorte que les deux distances sont toujours en raison reciproque.

CHAPITRE V.

Suite du Chapitre précédent; usage des Principes établis ci-devant pour déterminer la quantité de mouvement de conversion que prend un corps exposé à l'action de plusieurs puissances.

I.

LES principes que nous venons d'établir étant admis, il est facile de prévoir toutes les particularités du mouvement d'une regle qui est sujette à l'action de deux ou d'un plus grand nombre de puissances. Imaginons-nous la regle AB (Fig. 96.) poussée en même tems en A par un agent qui s'exerce selon la direction Aa, & en D par un autre agent qui s'exerce selon DE. On sçait que c'est la même chose quant à l'effet ultérieur, lorsqu'un corps

est exposé à l'action de plusieurs puissances, de suposer Fig. 96.
que ce corps a été mû par la diagonale qui est la direction composée de toutes ces puissances, ou de suposer qu'il a cedé successivement à chaque impression particuliere l'une après l'autre ; & qu'on trouve toujours qu'il est parvenu dans le même point. Ainsi quoique les deux actions dont il s'agit ici soient simultanées, nous pouvons les considerer chacune à part, sans qu'il importe laquelle nous examinions la premiere. Je dis donc que la puissance apliquée en A fera tourner la regle sur un certain point C, dont la situation dépendra de la distance AG de la puissance A au centre de gravité G, & que le chemin Gg que parcourra ce même centre de gravité, sera proportionel à la force absoluë de la puissance A, parce que ce chemin représente, comme nous l'avons dit, le mouvement total que reçoit la regle. Plus ce chemin sera grand, plus l'angle de conversion ACa le sera aussi : mais la grandeur de ce même angle depend en même tems de la distance CG du centre de conversion C au centre de gravité G. Si cette distance est deux ou trois fois plus petite, tout le reste étant égal, l'angle de conversion sera deux ou trois fois plus grand ; de sorte que l'angle de conversion qui suit la raison inverse de CG, suit la raison directe de GA. Or il suit de là, en considérant tout, que cet angle est proportionel au produit du chemin Gg du centre de gravité par GA, ou ce qui revient au même, qu'il est comme le produit de la puissance A par sa distance GA au centre de gravité G. C'est-à-dire, que nous avons ce Théoreme très-digne de remarque, que *la grandeur de l'angle de conversion d'une regle poussée perpendiculairement à sa longueur, ou que la quantité de son détour est toujours proportionelle au moment de la puissance par raport au centre de gravité de cette regle, sans qu'il importe sur quel point la regle tourne ni par quel endroit elle soit poussée.*

Mais aussi-tôt que la regle AB a été transportée en ab par l'effort de la premiere puissance, elle doit sortir de

Digitized by Google

Fig. 96. cette situation par l'effort de l'autre qui est apliquée en D ou en *d* & qui agit selon *d*E. Plus cette seconde puissance sera voisine du centre de gravité G ou g, plus elle fera tourner la regle ab sur un point *c* éloigné; & conformement à ce que nous avons déja dit, le centre de gravité g doit parcourir dans ce second moment un chemin g*g*, proportionel à la force absoluë de la seconde puissance. Ainsi si cette seconde puissance est parfaitement égale à la premiere, le centre de gravité ne fera autre chose que revenir dans la premiere place G; & il arrivera donc que la regle n'aura tourné que sur ce point. Car on voit assez que les autres centres de conversion C & *c* ne sont que fictices & qu'ils ne doivent leur origine qu'à la distinction d'ordre que nous feignons pour notre commodité entre les actions des deux puissances, quoi qu'elles soient parfaitement simultanées. Mais si la seconde puissance qui agit selon *d*E a plus de force absoluë que la premiere qui agit selon Aa, le centre de gravité g sera transporté plus loin que G, il sera porté jusqu'en *g*, & la regle ab se trouvera située en *ab*; de sorte que l'action mutuelle des deux puissances aura fait passer la regle AB en *ab*, & l'aura par conséquent fait tourner réellement sur le centre de conversion F.

Ainsi l'angle vrai de conversion, celui qui résulte des deux actions réunies & qui en est l'effet ulterieur, est l'angle AF*a* ou BF*b*, lequel, comme on le voit, est la différence des deux angles de conversion ACa & a*ca* que causeroient séparement les deux puissances. Mais par la même raison que le premier angle de conversion ACa est proportionel au moment de l'agent A, ou au produit de sa force absoluë par sa distance GA au centre de gravité G, le second angle a*ca* est proportionel au moment de la seconde puissance, ou au moment de sa force absoluë par la distance *d*g ou DG au centre de gravité de la regle; & de là il suit que l'angle réel AF*a* de conversion, celui qui est produit par la concomitance des deux puissances, est proportionel (parce que ces deux puissances agissent en sens

ſens contraire) à l'excès d'un moment ſur l'autre. Supoſé que nous nommions A une des puiſſances & D l'autre, l'angle réel de converſion ſera donc proportionel à A × AG — D × DG ; & cet angle ſera poſitif ou négatif, ſelon la maniere dont l'excès du premier moment ſur le ſecond, ſera affecté. Si le premier moment eſt réellement plus grand que le ſecond, la premiere puiſſance vaincra la ſeconde & le mouvement ſe fera comme il eſt repréſenté dans la figure *96*. Si les deux momens ſont égaux, l'angle réel de converſion ſera nul ; de ſorte que les deux différentes ſituations AB & *ab* ſeront exactement paralleles, comme dans la figure *97*, & la verge qui aura changé de place, n'aura pas tourné. Enfin ſi le moment de la premiere puiſſance eſt moindre que celui de la ſeconde, l'angle de converſion ſera négatif ; la premiere puiſſance ſera vaincuë par la ſeconde, & l'effort des deux aura fait paſſer la regle AB dans la ſituation *ab*, comme le repréſente la figure *98*. Fig. *96*.

II.

On voit aſſez que c'eſt ordinairement le premier de ces trois cas que nous devons rechercher. Car la premiere puiſſance, celle qui eſt apliquée en A, repréſente les voiles de l'avant, pendant que la ſeconde puiſſance, celle qui agit ſelon DE, repréſente le choc de l'eau ſur la prouë, produit par la viteſſe du ſillage ; & le plus grand inconvenient qu'on a preſque toujours à craindre dans les Navires qui ne gouvernent pas, c'eſt que l'effort des voiles de l'avant ne ſoit pas capable de ſurmonter le choc de l'eau, lorſqu'il s'agit de faire tourner le Navire. Mais rien n'empêchera maintenant de reconnoître avec une extréme facilité, les bonnes ou les mauvaiſes qualités qu'auront à cet égard tous les Vaiſſeaux qu'on ſe propoſe de conſtruire : il n'y aura qu'à examiner combien un des momens eſt plus grand que l'autre par raport au centre de gravité. Il étoit aſſez facile de ſoupçonner que ce moyen devoit ſervir, lorſque le centre de converſion ne differe pas du centre

Fig. 96. de gravité; ce qu'il y a de particulier, c'eſt qu'il a géalement lieu, lorſque le mouvement ſe fait ſur tout autre point.

Supoſé que le Vaiſſeau de la figure 67 ſingle à toutes voiles, on pourra repréſenter l'effort du vent par l'étenduë même des voiles; & cette même étenduë repréſentera auſſi la force du choc de l'eau ſur la prouë qui s'exerce ſelon FC; puiſque les efforts du vent & de l'eau, ſelon le ſens horiſontal, ſont parfaitement égaux. Si après cela on ſuprime une des voiles, & qu'il ſoit queſtion de ſçavoir ſi le Navire obéira avec promptitude à l'effort des autres voiles, on pourroit décompoſer les forces, & chercher les parties qui agiſſent dans le ſeul ſens perpendiculaire à la quille; mais cela n'eſt pas néceſſaire: continuant à exprimer le choc de l'eau ſur la prouë par l'étenduë qu'avoient toutes les voiles, il n'y aura qu'à multiplier cette étenduë par la diſtance GC du centre de gravité G du Navire à la direction FC du choc, & on aura le moment de ce choc. On trouvera de la même maniere le moment de l'effort des voiles qui ſervent; & on verra de cette ſorte dans tous les cas imaginables laquelle des impulſions doit dominer.

Si l'étenduë des voiles avec leſquelles le Vaiſſeau faiſoit route, étoit par exemple, de 20000 pieds quarrés, & que la direction CF de leur effort paſſât à 30 pieds de diſtance du centre de gravité G, on aura 600000 pour leur moment ou pour celui du choc de l'eau contre la prouë qui eſt préciſément le même. Pour peu enſuite qu'on diminuë l'étenduë des voiles de la poupe, la force relative avec laquelle les autres voiles travailleront à faire tourner le Navire ne pourra pas manquer de ſe trouver plus grande; puiſque le moment de la partie ſuprimée tendoit à produire un effet contraire, il étoit négatif; auſſi-tôt que cette partie étoit en arriere du centre de gravité du Vaiſſeau. Ainſi la retrancher, c'eſt la même choſe que ſi on l'ajoutoit en avant. Mais on aprendra, en multipliant par leur diſtance au centre de gravité l'étenduë des voiles actuel-

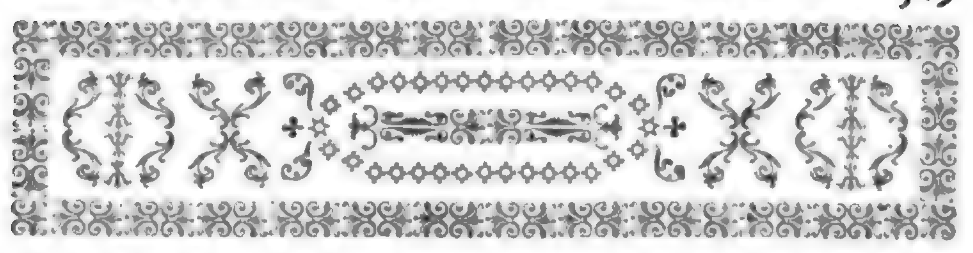
Digitized by Google

lement déployées, si leur moment est effectivement plus grand d'une quantité assez considérable. Suposé que l'étenduë des voiles de la poupe qu'on a serrées, soit de 3000 pieds, & que la direction composée ou moyenne des autres qui auront 17000 pieds de surface, ne se trouvât éloignée que de 36 pieds du centre G, leur moment ne seroit que de 612000; & le moindre obstacle, comme une Mer un peu agitée, ou une legere diminution, mais subite dans la force du vent, seroit cause tous les jours que ces dernieres voiles ne reussiroient pas à vaincre le choc de l'eau dont le moment seroit de 600000. On concluroit donc que dans le partage qu'on a fait entre les proprietés que doit avoir le Vaisseau, on a trop accordé à l'avantage de marcher avec vitesse, au préjudice de celui de gouverner avec facilité. Pour corriger ce défaut, il faudroit mettre encore quelques voiles vers la prouë dont on se serviroit dans l'occasion; ou si la chose n'étoit pas possible, & que le Vaisseau ne fût que projetté, il faudroit, conformement à ce qu'on a vû dans les Chapitres précédens, porter un peu plus vers l'avant la plus grande largeur de la carène.

III.

Nous n'avons pas besoin dans cette recherche de sçavoir sur quel point doit tourner le Navire, mais on nous pardonnera sans doute cette curiosité. Si l'angle réel AF*a* (Fig. 96 & 98.) de conversion étoit égal à l'angle de conversion ACa, que causeroit la premiere puissance si elle étoit seule, les triangles GCg & GF*g* seroient semblables, & nous aurions cette analogie Gg | G*g* || GC | GF; ou en mettant à la place de Gg & de G*g*, la premiere puissance A, & son excès A — D sur la seconde qui sont en même raport, nous aurons A | A — D || GC | GF; de sorte que GF seroit égale à $\frac{A-D}{A} \times GC$. Mais puisque les angles en C & en F ne sont point égaux, la quantité $\frac{A-D}{A} \times G$ ne doit point être la juste valeur de GF; mais celle de G*f* in- Fig. 96. & 98.

Fig. 96. & 98. terceptée entre le centre de gravité G & une ligne droite gf parallele à ba qui passeroit par le point g. Et à l'égard de CF elle doit être plus grande ou plus petite, selon que l'angle en F est plus petit ou plus grand que l'angle f ou que l'angle C; c'est-à-dire, que Gf & GF sont en raison réciproque des angles f & F, ou C & F. Ainsi nous n'aurons qu'à faire cette seconde analogie, en mettant à la place des angles dont il s'agit, les momens qui leur sont proportionels; l'excès $A \times GA - D \times GD$ du moment de la premiere puissance sur celui de la seconde, est au moment $A \times GA$ de la premiere puissance, comme la quantité $\frac{A - D}{A} \times GC$ ou Gf est à GF, qui se trouve égale à $\frac{A - D}{A \times GA - D \times GD} \times GA \times GC$: de sorte que pour trouver immédiatement la distance FG du centre de gravité G au centre réel de conversion, il n'y a qu'à faire cette unique proportion; la différence des momens des deux puissances est à la différence même de ces puissances, comme le rectangle de GA & de l'intervale GC compris entre le centre de gravité G & le point C où seroit le centre de conversion, si la regle n'étoit muë que par la premiere puissance, est à la distance GF du centre de gravité au vrai centre de conversion F. On peut faire sur cette valeur $\frac{A - D}{A \times CA - D \times GD} \times GA \times GC$ de GF différentes remarques que nous suprimons, pour ne pas allonger davantage ce Chapitre ni cette Section, & pour passer plus promptement à l'examen du Vaisseau par raport à la mâture.



QUATRIE'ME SECTION.

Où l'on examine le Vaisseau par raport à la qualité qu'il doit avoir de bien porter la Voile, ou de recevoir une voilure avantageuse.

CHAPITRE PREMIER.

De l'effort mutuel vertical que forment ensemble les impulsions du Vent sur les Voiles & de l'Eau sur la Prouë.

I.

IL suffit pour résoudre les Problêmes de Manœuvre, de même que toutes les questions que nous venons de discuter, d'avoir égard aux efforts du vent & de l'eau reduits au sens horisontal; parce que ce sont ces seuls efforts relatifs qui contribuent au sillage & qui font passer le Navire d'une route à l'autre. Ce n'est plus la même chose aussitôt qu'il s'agit de la disposition de la mâture & de la situation inclinée ou horisontale que peut prendre le Vaisseau: on est obligé de considerer les forces absoluës des chocs de l'eau & du vent dans leur état actuel, & de se livrer à la difficulté entiere que renferme un semblable examen. Comme la prouë AE (Fig. 99.) a toujours quelque saillie, Fig. 99.

Fig. 99. ou qu'elle eſt inclinée en avant, de même que le flanc du Navire, elle ne peut pas être pouſſée par le choc de l'eau dans le ſens horiſontal, ſans l'être en même tems dans le vertical; c'eſt-à-dire que l'eau par ſon choc fait non-ſeulement effort pour pouſſer la prouë en arriere, mais auſſi pour l'élever. Elle la pouſſe ſelon une direction DH, dont la ſituation dépend de la courbure de la prouë & de ſa ſaillie; & l'impulſion relative verticale peut ſe trouver plus grande ou plus petite que l'horiſontale dans toutes ſortes de raports. D'un autre côté, quoique le vent ſe meuve toujours à peu près parallelement à l'horiſon, il ne pouſſe néanmoins la voile LM que ſelon la perpendiculaire à ſa ſurface, & ſi on conſidere toute l'impulſion réunie dans le milieu I de la voile, elle s'exercera ſelon une ligne SK qui ne ſera peut-être pas horiſontale. Il faut encore ajouter que ces impulſions du vent ſur la voile & de l'eau ſur la prouë ne ſont pas égales, lorſqu'on les conſidere abſolument, quoique le Navire ſoit parvenu à ſon mouvement uniforme: l'égalité ne ſubſiſte ſeulement qu'entre les parties de ces forces qui agiſſent ſelon la détermination horiſontale, & qui contribuent au mouvement du ſillage.

II.

Les deux directions DH & SK ſe coupent en N; & il eſt évident que ce que les forces ont d'égal & de contraire doit ſe détruire entierement dans ce point, à cauſe de la parfaite opoſition qui s'y trouve; & qu'il ne doit reſter que les ſeules forces verticales qui s'exercent ſur la direction commune NT. Il n'importe en quel endroit de ſa direction on ſupoſe qu'eſt appliquée une puiſſance, ſi l'eſpace NR repréſente l'impulſion abſoluë de l'eau ſur la prouë, ſelon la direction DH; & NP celle du vent ſur la voile, ſelon la direction SK, & qu'on acheve le parallelograme PNRT, ſa diagonale NT marquera, conformement aux regles de la compoſition des mouvemens, la direction & la quantité de l'effort mutuel qui réſultera de

la réunion de ces deux puiſſances : c'eſt à l'effort commun Fig. 99.
NT qu'elles ſe réduiront, après la deſtruction de tout ce qu'elle auront de forces égales & contraires ; & cet effort commun doit être exactement vertical, puiſqu'il n'eſt formé que des ſeules forces relatives verticales, qui au lieu de ſe détruire, ſe joignent preſque toujours enſemble. Ainſi les impulſions du vent & de l'eau qui pouroient ſeules altérer, la viteſſe du ſillage ne conſpirent alors qu'à ſoulever le Navire ou à le tirer verticalement en haut; pendant qu'il eſt tranſporté par ſon propre mouvement ou par ſon mouvement intrinſèque déja acquis.

III.

Dans les premiers inſtans du ſillage, l'impulſion du vent ſur la voile eſt fort grande, & l'impulſion au contraire de l'eau ſur la prouë eſt fort petite. L'eſpace Np repréſente, par exemple, la premiere force, & Nr la ſeconde; & l'effort compoſé des deux eſt marqué par Nt qui s'exerçant ſur une direction inclinée en avant, nous aprend que le choc de l'eau ſur la prouë n'a pas alors aſſez de force relative horiſontale, pour ſuſpendre tout l'effet de l'impulſion du vent ſur la voile, & que la viteſſe de la marche doit s'accelerer ; puiſque le Vaiſſeau eſt tiré en avant. Le ſillage devenant plus rapide, le vent atteindra enſuite les voiles avec moins d'impetuoſité, & la prouë éprouvera au contraire plus de réſiſtance de la part de l'eau ; cette réſiſtance ſera repréſentée par NR, pendant que l'impulſion du vent le ſera par NP ; & l'effort commun ou mutuel NT, qui réſultera de la réunion de ces deux puiſſances, agiſſant ſur une direction NT plus aprochante d'être verticale, travaillera encore à faire accelerer le ſillage, mais avec moins de force. Nous ne nous arrêtons pas à démontrer, parce que cela n'importe pas à notre ſujet, que le lieu géométrique de tous les points t, T, T qui terminent les efforts compoſés Nt, NT, &c. eſt une parabole qui a les deux directions SK & DH pour tangentes.

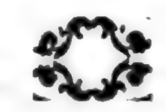
Fig. 99. Mais enfin, l'effort commun ou mutuel s'exercera successivement sur une infinité de diverses directions Nt, NT, de moins inclinées en moins inclinées, jusqu'à ce que la direction devenuë tout à fait verticale, & l'effort mutuel NT ne tirant plus en avant, le mouvement du sillage ne s'accelere plus & reste dans un état permanent. Pour le dire encore une fois ; les deux impulsions du vent & de l'eau agissent ensemble sur le Navire, & l'effort vertical NT au lieu de les représenter chacune séparement, marque leur action commune. C'est pourquoi, au lieu d'examiner les effets particuliers que chaque de ces puissances est capable de produire, nous n'aurons desormais qu'à avoir égard au seul effort vertical NT qui naît de l'addition des forces relatives verticales, après la destruction des forces relatives horisontales qui sont égales & contraires. Ce sera toujours précisement la même chose ; mais nous ne serons point obligés de partager notre attention entre tant d'objets ; & l'examen deviendra plus simple.

IV.

Au reste, il ne sera pas difficile de déterminer la quantité de cet effort mutuel vertical, aussi-tôt qu'on connoîtra la situation des directions DH & SK sur lesquelles s'exercent les deux impulsions particulieres qui le forment. Dans le triangle PNT les trois angles sont donnés : & on sçaura toujours aisément par l'Anémometre la force totale exprimée par NP du choc du vent sur la voile. Il n'y aura donc que cette simple analogie à faire ; le sinus de l'angle PTN égal à l'angle TNR fait par la direction du choc de l'eau & par la verticale, est à l'impulsion NP du vent sur la voile, comme le sinus de l'angle P égal à l'angle RNS que font ensemble les directions des impulsions du vent & de l'eau, est à l'effort requis NR. Suposé que l'étenduë des voiles exposées au choc soit de 15474 pieds quarrés, comme dans le Vaisseau du premier rang que nous avons consideré dans le premier Chapitre de la seconde Section, &

& que l'impulsion du vent sur chaque pied soit de six livres, l'impulsion totale sera de 92844 livres; & si la direction SK est horisontale, & que celle DH du choc de l'eau sur la prouë fasse un angle de $48\frac{1}{3}$ degrés avec l'horison, comme cela se trouvera à peu près dans nos Vaisseaux, & comme cela arriveroit tout-à-fait exactement si la prouë étoit sphérique, mais qu'elle n'enfonçât dans l'eau que la moitié de son rayon vertical, on trouvera que l'effort mutuel NT est de 104328 ou d'un peu plus de 52 tonneaux. C'est cet unique effort qui résulte de l'assemblage des chocs du vent & de l'eau, & qui représente toute leur action. Fig. 99.

Nous pouvons sans doute nous dispenser d'expliquer comment il se peut faire, que pendant que l'impulsion du vent, qui est la premiere cause du mouvement du Navire & de tout ce qui en résulte, n'est que de 92844 livres, l'effort mutuel vertical NT est néanmoins de 104328 livres: la composition & la communication des mouvemens offrent plusieurs phénomenes semblables connus de tous les Mécaniciens. D'ailleurs il est évident que le Vaisseau étant poussé avec une force de 92844 livres, doit aller choquer l'eau avec une plus grande vitesse, jusqu'à ce qu'il en soit repoussé dans le sens horisontal avec une force exactement égale. Mais de ce même choc, il doit naître nécessairement une impulsion verticale qui sera plus ou moins grande, selon que la prouë sera plus ou moins inclinée; & c'est principalement cette derniere force, parce qu'il n'y a rien qui puisse la détruire, qui forme l'effort vertical NT, & qui pourroit le rendre, non pas une ou deux fois plus grand, mais dix & vingt fois, si la prouë avoit beaucoup plus de saillie.



CHAPITRE II.

Des différentes situations que l'effort mutuel vertical des chocs du Vent sur les Voiles & de l'eau sur la prouë, fait prendre au Navire ; & des conditions de la mâture parfaite.

SI on examine maintenant les effets que cet effort NT est capable de produire en tirant continuellement le Navire en haut, on verra qu'il en peut causer deux très-différens. Le premier de soulever le Navire ou de le faire un peu sortir de l'eau ; & le second de produire quelque inclinaison vers la prouë ou vers la poupe, selon l'endroit du Vaisseau auquel il est apliqué.

I.

Le Navire étant continuellement tiré en haut, sa pesanteur doit être comme diminuée : & la poussée verticale
Fig. 99. de l'eau étant ensuite trop grande, le Navire doit s'élever. L'effort mutuel NT agit avec une force de 104328 livres ou de 52 tonneaux, c'est autant à retrancher sur le poids total ; & la poussée de l'eau étant déchargée de tout ce fardeau, le Navire ne doit plus occuper un si grand espace dans la Mer ; il doit en sortir assez pour que le volume d'eau déplacée par sa carène, soit moindre de 52 tonneaux, ou d'environ 1456 pieds cubiques. Il est évident que cet effet est physiquement nécessaire ; & il est également clair que la partie de la carène qui s'éleve, & qu'on peut nommer la partie *non-submergée*, doit avoir même raport à toute la carène, que l'effort vertical NT à toute la pesanteur du Vaisseau ; c'est-à-dire, que si tout le poids du Navire est exprimé par la solidité entiere de la carène ABFE, la partie *non-submergée* AB*ba* représen-

Digitized by Google

tera l'effort mutuel NT, pendant que la partie sumergée *ab*FE representera la force actuelle de la poussée verticale de l'eau. Au reste cette élevation du Navire peut se negliger dans diverses rencontres: car comme la coupe horisontale du Navire faite à fleur d'eau a beaucoup d'étenduë, il suffit que la carène s'éleve très-peu, pour que la partie qui sort de l'eau acquerre la solidité qu'elle doit avoir. Cette partie n'aura jamais que 4 ou 5 pouces d'épaisseur, dans le tems même que le vent aura le plus de rapidité, & qu'on donnera aux voiles le plus de surface. Fig. 99.

II.

Mais en même tems que l'effort NT souleve le Vaisseau, il peut le faire incliner, & porter même l'inclinaison si loin, qu'il n'y ait pas de sureté pour les Marins. Ce second effet qui n'est pas nécessaire comme le premier, doit principalement varier selon les diverses aplications de l'effort dont nous parlons, par raport au centre de gravité du Navire. * Lorsque la mâture est fort haute, la di-

* L'Auteur dont j'ai parlé dans la seconde partie de la notte de la page 387, a mis à la fin de son Livre l'extrait de deux Lettres anonymes, dans lesquelles on se déclare pour un autre avis sur le point du Navire qu'il faut prendre pour hypomoclion. On m'objecte la Théorie qu'a donné M. Bernoulli sur le point qu'il nomme *centrum spontaneum rotationis* N. 177. du quatriéme tome de ses Oeuvres; j'avoue que l'autorité de M. Bernoulli est si grande en Mathématiques, que je croirois m'être trompé, si je l'avois contre moi, malgré toutes les raisons sur lesquelles mon sentiment est fondé. Mais outre que j'ai reconnu avec plaisir que j'étois parfaitement d'accord avec ce célébre Mathématicien dans plusieurs recherches qui nous sont communes, quoique nous soyons venus aux mêmes resultats par des chemins très-différens, le Lecteur doit remarquer qu'il ne s'agit nullement ici d'oscillations ou de balancemens, & qu'il n'en étoit pas plus question dans mon Traité de la mâture, où je ne parlois de changemens de situations de la part du Navire, que pour tacher de les prévenir. Lorsque le Vaisseau est exposé à l'action de plusieurs puissances, c'est à peu près le même cas que si plusieurs personnes tiroient une regle ou un bâton par différens endroits & selon différentes directions. On sçait bien que cette regle peut changer de situation sur une infinité de différens points, mais il n'en est nullement question lorsqu'on veut que la regle ne tourne pas; & il suffit pour cela qu'il y ait un équilibre parfait entre les efforts de toutes les personnes qui agissent ensemble. C'est ce que je tache de faire aussi à l'égard du Vaisseau. Mais ce qui étonnera, peut-être, l'Auteur anonyme des deux Lettres; c'est que quoique je ne dusse pas penser au centre de rotation, & que je prenne toujours le centre de gravité du Navire pour point d'apui, lorsque je considere

Fig. 99. rection SK de la voile coupera la direction DH du choc de l'eau dans un point N beaucoup plus élevé & plus en arriere, & la direction VT de l'effort NT étant apliquée vers la poupe, soulevera cette partie & fera par conséquent enfoncer en même tems la prouë dans l'eau. Ce sera tout le contraire si la mâture a trop peu de hauteur, & que la direction SK de l'effort du vent coupe la direction du choc de l'eau dans un point N beaucoup plus bas: l'effort mutuel NT soulevera alors le Navire par l'avant & fera caler la poupe. Il arrivera à peu près la même chose qu'à une piece de bois qu'on éleve par une de ses extrémités, au lieu de l'élever par le milieu: un de ses bouts reste à terre, pendant qu'on fait monter l'autre.

Le Vaisseau portera l'inclinaison dans ces deux différens cas, jusqu'à ce que la poussée de l'eau soit en état de l'empêcher d'aller plus loin. Le Navire ne peut pas perdre sa situation horisontale sans que le centre de gravité de la partie sumergée, dans lequel se réunit la poussée verticale de l'eau, change de place & avance du côté de l'inclinaison; ce qui fait que cette force, quoique la même, se trouve ensuite apliquée à un bras de levier plus long, & qu'acquierrant un plus grand moment, elle se trouve plus en état de s'oposer à l'inclinaison. C'est sur tout dans les routes obliques que l'inclinaison va fort loin, & on n'a que trop d'exemples où elle a été poussée jusqu'au point de faire verser le Vaisseau. La figure 100 représente un Navire qui touche, pour ainsi dire, à ce fu-

chaque effort à part, je n'introduis cependant pas moins l'équilibre par raport au centre de rotation prétendue ou même par raport au centre de la Terre, que par raport au centre de gravité du Navire. La raison en est évidente à tous les Lecteurs un peu versés dans les Mécaniques. On rend ici l'équilibre parfait; c'est-à-dire, qu'on le rend tel, que généralement tous les efforts se détruisent mutuellement par leur égalité & leur oposition. L'effort du vent contre les voiles, la résistance qu'éprouve la prouë, la poussée verticale de l'eau, la pesanteur même du Navire, toutes ces forces suspendent reciproquement leur effet: ainsi elles sont en équilibre à l'égard de tous les points imaginables. Supposé que le reste des deux Lettres soit susceptible de quelqu'autre sens, car je ne me flate pas de les bien entendre, je crois néanmoins que cette seule réponse doit suffire.

neste état : l'effort mutuel NT des chocs du vent & de l'eau tend à le faire coucher davantage, & il n'y a que la poussée verticale de l'eau qui se réunit dans le centre de gravité Γ de la partie sumergée *a*E*b*, qui puisse le relever, ou l'empêcher au moins de porter l'inclinaison plus loin. Fig. 99.

C'est en un mot l'équilibre de part & d'autre du centre de gravité g du Navire, entre la poussée verticale de l'eau & l'effort mutuel vertical NT, qui doit tout décider. Si ces deux forces se contrebalancent exactement ou sont dans un parfait équilibre, le Navire conserve la même situation; au lieu que si la poussée verticale de l'eau qui s'exerce selon ΓZ, n'est pas assez puissante; & si le Navire en s'inclinant encore, cette force quoi qu'apliquée à un bras de levier plus long, n'acquerre pas un assez grand moment; le péril est inévitable, il n'y a plus de salut. Enfin ce n'est toujours que lorsque la mâture a une hauteur moyenne, & que la direction SK (Fig. *99.*) de l'effort du vent passe exactement par un certain point N que nous avons nommé *vélique* dans le Traité de la mâture, que le Navire ne perd du tout point son niveau. Alors l'effort mutuel vertical NT n'est apliqué ni trop vers la poupe ni trop vers la prouë, & ne s'occupe qu'à faire sortir le Navire de l'eau par tout également.

III.

Pour déterminer le point *vélique* ou ce point N duquel dépend la perfection de la mâture, il n'y a qu'à élever du centre de gravité γ (Fig. *99.*) de la coupe horisontale de la carène faite à fleur d'eau une verticale VT, & l'interfection N de cette ligne & de la direction DH du choc de l'eau sur la prouë, sera le point requis ou le point par lequel on doit faire passer la direction SK de l'effort du vent. Comme la tranche AB*ba* de la carène qui s'éleve de l'eau, lorsque le vent a même le plus de force, n'a que très-peu d'épaisseur, son centre de gravité γ ne differe point de celui d'une surface

Fig. 99. plane de même étenduë, tant que le Navire conserve sa situation horisontale. Ainsi il suffit de faire passer la direction de l'effort de la voile par le point N, pour que l'effort mutuel vertical NT soit comme apliqué au centre de gravité γ de la partie non-sumergée AB*ba* de la carène. Mais aussi-tôt que cette condition est remplie, l'effort mutuel NT ne peut plus faire incliner le Navire; parce que la poussée verticale de l'eau qui se réunit dans le centre de gravité Γ, non pas de toute la carène, mais de la partie sumergée *ab*FE, se trouve située de l'autre côté du centre de gravité du Vaisseau, & s'opose à l'inclinaison aussi efficacement que l'effort mutuel vertical NT y travaille.

Il est clair en effet, que puisque ces deux forces ont entr'elles le même raport que les deux parties sumergée & non-sumergée de la carène considerées comme homogènes, & qu'elles sont outre cela apliquées au centre de gravité Γ & γ de ces mêmes parties, elles doivent être en équilibre autour du centre de gravité g de toute la carène; de même que les deux parties le sont. Cela ne fait rien à l'équilibre que la poussée verticale de l'eau selon ΓZ & l'effort composé NT s'exercent de bas en haut; au lieu que les pesanteurs des deux parties *ab*FE & AB*ba* tendent en bas. Mais aussi-tôt que les deux puissances qui pourroient alterer la situation horisontale se contrebalancent parfaitement de part & d'autre du centre de gravité g de la carène, elles doivent le faire également autour de tous les autres points qui sont précisement au-dessus ou au-dessous dans la même verticale; & l'équilibre doit donc subsister par raport au centre de gravité du Vaisseau.

IV.

Ce n'est pas ici le lieu d'en dire davantage sur une matiere dont nous avons traitée expressement. Nous nous contenterons d'ajouter, que lorsque la maxime que nous venons d'expliquer est exactement observée, ou que le centre d'effort du vent repond vis-à-vis du *point vélique*, on

peut sans risque donner aux voiles qu'elle étenduë on veut, Fig. 99.
à cause de la bonne qualité que le Vaisseau contracte, de s'élever de l'eau sans perdre sa situation horisontale; qualité dont il n'est pas capable, lorsque sa mâture a toute autre disposition. Toutes les puissances qui agissent sur lui, ne font alors que le tirer en haut avec plus ou moins de force, & ne font que le soulever plus ou moins. Si le vent devient plus rapide, s'il devient tout-à-fait violent, le Navire singlera plus vite, le choc de l'eau sur la prouë augmentera, & l'effort mutuel NT qui deviendra plus grand, fera sortir de l'eau une plus grande partie de la carène, une partie qui aura peut-être 4 ou 5 pouces d'épaisseur: Mais comme l'effort NT sera toujours apliqué sensiblement au centre de gravité de cette partie, l'équilibre nécessaire pour entretenir la situation horisontale, ne sera nullement alteré. Le Navire enfin sera, pour ainsi dire, plus leger, lorsque le vent deviendra plus fort, ou lorsque les vagues fraperont sa prouë avec plus de violence; & on le verra toujours marcher avec la plus grande rapidité possible, sans qu'il soit exposé à aucun péril.

Mais on perdra tous les avantages dont nous venons de parler, si on donne à la mâture plus ou moins de hauteur: on aura tout à craindre de la trop grande étenduë des voiles, si on tombe dans le premier défaut; on sera souvent assujetti à les serrer, lorsqu'il seroit tout-à-fait nécessaire de les étendre, pour pouvoir en dérivant moins, s'élever d'une côte, ou doubler un cap, ou éviter un écueil. C'est un grand inconvenient dans ces rencontres de ne pouvoir pas porter assez de voiles. Car l'impulsion que souffre toute la partie d'en haut du flanc du Navire, devient considerable par raport à l'impulsion totale du vent. Cette impulsion que reçoit le flanc du Navire se trouve dominante, vû le peu d'étenduë des voiles; & comme elle ne s'exerce gueres que dans le sens latéral ou dans le sens perpendiculaire à la quille, elle n'est capable que du mauvais effet de faire augmenter extrémement la dérive, sans que les voiles qui poussent peu dans le sens de la route, puissent

s'y oposer, comme les Marins ne l'éprouvent que trop souvent. Le Navire outre cela, au lieu de sortir de l'eau par tout également, au lieu d'être *leger aux lames*, deviendra pesant, s'inclinera d'un côté ou d'autre; & on sera tout étonné de le voir conformement à ce que nous avons expliqué ci-devant *, singler plus lentement dans le tems même qu'on s'exposera aux plus grands périls & qu'on hazardera tout, pour le faire aller plus vite. Enfin nous dirions que c'est presque un égal défaut de donner trop peu de hauteur à la mâture que de lui en donner trop, si ce n'est que dans l'état actuel où sont les choses, on est fort éloigné du terme moyen dans lequel consiste la perfection, & qu'il n'y a point d'inconvenient à diminuer le plus qu'on pourra la hauteur qu'on donne aujourd'hui à toutes les voiles.

* Voyez la fin du premier Chap. de la 2. Section.

Une infinité d'expériences prouvent la même chose; nous avons déja raporté dans le premier Livre des faits sur cela qui sont de notorieté publique, & qui sont démonstratifs; & on me permettra sans doute d'en alleguer encore un autre qui m'interesse, il est vrai, mais qui interessant encore plus le Public, ne doit pas être suprimé. C'est l'essai que fit il y a quelques années feu M. de Radouay, en diminuant tout d'un coup de 45 pieds la hauteur de la mâture d'un Navire du troisiéme rang **: essai qui réussit dans le voyage de la Mer Baltique, au-delà de ce qu'on devoit naturellement attendre d'une premiere tentative. Il avoit falu des siecles entiers, & faire une infinité de divers changemens pour porter dans la Marine les choses dans l'état où on les voit: au lieu que M. de Radouay, sans autre épreuve, & par une observation seulement aprochée des maximes qu'on vient d'exposer, mais aidé aussi par une pratique éclairée & par une connoissance particuliere de la Mer, saisit d'abord la disposition propre à ce Vaisseau, que les regles qu'on respecte si fort & qui sont le fruit d'un si long tatonnement, n'avoient pas empêché jusques là d'être mauvais voilier. Peut-être cependant que la tiranie de l'habitude sera toujours la plus forte,

** Le Vaisseau du Roy le Fleuron.

Digitized by Google

forte, & qu'on persistera encore à suivre un usage, dont on ne sent que trop les défauts. Ce que nous pouvons donc faire de plus, c'est d'indiquer & de retrancher tout ce que les regles ordinaires ont de dangereux, & de faire ensorte par les restrictions que nous leur mettrons, qu'elles ne puissent plus causer d'accidens.

CHAPITRE III.

Principe général pour déterminer la plus grande hauteur qu'on peut donner sans risque à la Mâture; avec quelques remarques sur la force qu'ont les Vaisseaux de divers rangs, pour porter la Voile.

I.

NOUS n'avons pour cela qu'à prendre pour limite la plus grande hauteur qu'on peut donner à la mâture, sans s'exposer au risque de verser, lorsque le vent a le plus de force. La Théorie que nous venons d'établir nous met en état de résoudre facilement ce Problême, tenté inutilement jusqu'à présent par diverses personnes, depuis que le P. Hoste a vû le premier qu'il étoit utile d'y penser.

Le Vaisseau de la Fig. 100. étant incliné le plus qu'il est possible, nous pouvons trouver aisément le centre de gravité Γ de la partie sumergée de la carène, & nous sçaurons combien la verticale ΓZ de ce centre est éloignée du centre de gravité G du Navire. Nous devons aussi regarder comme connuë la situation de la direction DH du choc de l'eau. Ainsi il n'y a d'indéterminée que la seule situation de la direction SK de la voile qui peut être plus ou moins haute; mais que nous suposons perpendiculaire au mât. Du point Z où la verticale ΓZ sur laquelle s'exerce la poussée de l'eau, coupe la direction DH, je tire la ligne ZF parallelement à la direction SK de la voile, & j'abais- Fig. 100.

Vuu

Fig. 100. ſe les perpendiculaires Z*i* & Z*v* ſur les directions SK de la voile & VT de l'effort mutuel vertical NT. Du point g qui eſt l'interſection de EF & de ΓZ, & qui eſt, comme on le ſçait, le *métacentre*, j'abaiſſe auſſi la perpendiculaire gV ſur VNT.

Puiſque l'effort mutuel vertical NT auquel ſe reduiſent les chocs du vent & de l'eau, doit ſe contrebalancer exactement de part & d'autre du centre de gravité G, avec la pouſſée verticale de l'eau réunie en Γ & qui s'exerce ſelon ΓZ, & que ces deux forces doivent ſoutenir enſemble la peſanteur du Vaiſſeau ; nous pouvons conſiderer la ligne horiſontale gV comme une ligne inflexible, ou comme un levier à l'extrémité duquel les deux premieres forces, l'effort NT & la pouſſée verticale de l'eau ſont apliquées, pendant que la peſanteur du Navire eſt apliquée en Q, qui répond exactement au-deſſus de G. Il doit y avoir un parfait équilibre entre ces trois puiſſances ; c'eſt-à-dire, qu'elles ſuſpendent reciproquement leur effet : & cela eſt cauſe qu'on peut attribuer quelle eſpece on veut au levier gV, ou prendre indifféremment g ou Q, ou même V pour point d'apui ou pour hypomoclion.

Je mets pour une plus grande facilité ce point en g dans le *métacentre* même ; ou ce qui revient à la même choſe, je conſidere le levier comme s'il étoit de la ſeconde eſpece. Nous ſerons de cette ſorte diſpenſés de conſiderer la *pouſſée verticale* de l'eau, qui n'aura d'autre emploi que de rendre fixe l'extrémité g du levier gV ; pendant que la peſanteur du Vaiſſeau travaillera à faire deſcendre le point Q, & que l'effort mutuel vertical NT, auquel ſe reduiſent les chocs du vent ſur la voile & de l'eau ſur la proüe ou ſur le flanc de la carène, tendra à faire monter l'extrémité V. On ne doit pas craindre que l'ordre entre les trois puiſſances puiſſe changer ; quelque grande que ſoit l'inclinaiſon du Navire, pourvu qu'il ne verſe pas, le point Q ſera toujours entre les deux autres g & V. Cela ſupoſé, nous aurons dans le cas de l'équilibre le moment de la peſanteur totale du Navire parfaitement égal

au moment de l'effort NT par raport à l'hypomoclion g. Fig. 102.
C'eſt-à-dire, que ſi P déſigne la peſanteur totale du Vaiſſeau, nous aurons $P \times gQ = NT \times gV$; le produit de la peſanteur totale P par la diſtance gQ au point d'apui, parfaitement égal au produit de l'effort NT multiplié par la longueur gV du bras de levier auquel il eſt apliqué.

Mais ſi l'expreſſion du moment de la peſanteur totale du Navire, eſt fort ſimple & ne peut pas l'être davantage; ce n'eſt pas la même choſe de l'autre moment: car outre que l'effort vertical mutuel NT n'eſt connu que par le moyen des forces primitives qui le compoſent, on ne parvient encore à déterminer la diſtance gV que par un aſſez long circuit. Il ſeroit donc avantageux de trouver un autre produit, mais plus immediatement connu, qui étant toujours égal au moment $NT \times gV$, put lui être ſubſtitué. Ce produit ſe découvre aiſément, quand on y fait attention; c'eſt l'effort même NP du vent ſur la voile multiplié par ſa hauteur FI au-deſſus du point F ou du point Z, comme on va s'en convaincre.

Il y a même raport des ſinus des angles Z*Ni* & Z*Nv* aux côtés opoſés Z*i* & Z*v*, que du ſinus total à ZN; & par conſéquent il y a même raport du ſinus du premier angle Z*Ni* à Z*i*, que du ſinus du ſecond angle Z*Nv* à Z*v*. Et ſi on remarque que les angles TPN & NTP du triangle PNT ſont égaux aux angles Z*Ni* & Z*Nv*, & que les côtés NT & NP ſont proportionels aux ſinus de ces angles; il s'enſuivra par égalité de raiſons que Z*i* ou FI eſt à Z*v* ou à gV, comme NT eſt à NP; & que par conſéquent le produit de NT par gV eſt égal à celui de NP par FI ou par Z*i*. Il eſt donc évident qu'au lieu du produit de NT par gV ou du moment de l'effort vertical mutuel NT par raport au métacentre g, nous pouvons toujours mettre le produit qui lui eſt égal de NP par Z*i*, ou le moment de l'effort actuel NP du vent ſur la voile, non pas par raport au métacentre g, mais par raport au point F ou au point Z: & puiſque le premier produit eſt égal au moment de la peſanteur totale du Vaiſſeau, le ſecond produit eſt donc

Fig. 100. aussi égal à ce moment. C'est-à-dire, qu'au lieu de faire consister l'équilibre dans l'égalité des momens, $P \times gQ = NT \times gV$, nous pourrons le faire consister desormais dans l'égalité $P \times gQ = NP \times FI$.

Ainsi nous aurons cette regle qui est générale, qu'*aussitôt que le Navire est stable pendant sa navigation, ou que lorsque toutes les puissances, à l'action desquelles il est sujet, se contrebalancent exactement; les momens de la pesanteur totale du Vaisseau & de l'effort du vent sur les voiles sont parfaitement égaux (mais par raport à deux différens points;) le moment de la pesanteur du Vaisseau par raport au métacentre* g, *& celui de l'effort du vent par raport au point* Z *qui est l'intersection de la direction* DH *& de la verticale* ΓZ. Cette égalité de momens ou de produits est absolument nécessaire; & il faut principalement que le second produit $NP \times Zi$ ne surpasse pas le premier $P \times gQ$: car s'il étoit plus grand, la voile auroit trop de force, & l'inclinaison du Navire augmenteroit.

II.

L'utilité de cette regle se presente naturellement; & elle nous met en état de rectifier diverses choses que nous n'avons pas pû rendre assez précises, lorsque nous avons parlé de la mâture dans le premier Livre. On vient de voir que la force qu'a le Navire pour porter la voile, dépend de la pesanteur absoluë P & de la quantité dont son centre de gravité est au-dessous du métacentre. Car plus le premier de ces points sera au-dessous de l'autre, plus le bras de levier gQ auquel sera apliquée la pesanteur P sera long; & le moment $P \times gQ$ sera grand. On vient de voir en second lieu, que l'effort que fait la voile pour faire incliner le Navire n'a pour hypomoclion ni le centre de gravité G du Navire ni le métacentre g, mais le point Z de la direction DN, lequel est exactement au-dessus ou au-dessous du métacentre dans la même verticale. Ces choses suposées, il ne suffit pas pour que les maximes que nous avons données dans le premier Livre soient sensiblement exactes,

que les formes extérieures des carènes des Navires ſoient ſemblables, il faut encore que la diſtribution intérieure du poids, ſoit la même; afin que le centre de gravité ſoit ſitué de la même maniere ou ſemblablement par raport au métacentre: ce n'eſt que lorſque cette condition eſt obſervée, que la force relative P × gQ qu'ont les Navires pour porter la voile, eſt comme la quatriéme puiſſance de leurs dimenſions ſimples. Cette force s'opoſe à l'effort de la voile; & le moment de ce dernier effort eſt exprimé par le produit de la largeur de la voile par ſa hauteur & par la hauteur de ſon centre d'effort I au-deſſus du point Z. C'eſt pourquoi, ſupoſant la largeur des voiles proportionelle à celle du Vaiſſeau, le cube des dimenſions ſimples du Navire, ou ce qui revient au même, la peſanteur P doit être proportionelle, non pas préciſément au quarré de la hauteur des voiles; mais au produit de leur hauteur par celle de leur centre d'effort au-deſſus du point Z. Fig. 100.

Il eſt clair auſſi que l'avantage ou le deſavantage qu'ont les Navires pour porter la voile, dépend principalement de la quantité Gg dont leur centre de gravité eſt au-deſſous du métacentre. Un Vaiſſeau qui ne doit porter qu'une mâture proportionelle à ſes autres parties, n'a pas plus d'avantage qu'un autre. Qu'importe-t-il en effet que les voiles ſoient deux fois plus hautes & deux fois plus larges, ou quelles ayent quatre fois plus d'étenduë, ſi d'un autre côté la ſurface de la prouë étant quatre fois plus grande, éprouve auſſi quatre fois plus de réſiſtance de la part de l'eau? Le ſillage ne ſera pas plus rapide. Les regles vulgaires qui rendent la mâture proportionelle, ſupoſent donc que les Navires ſont tous égaux en cela, ou ſans aucune preéminence les uns par raport aux autres: ce qui arriveroit ſi la quantité Gg dont leur centre de gravité eſt au-deſſous du métacentre, étoit toujours exactement la même dans les petits & dans les grands. L'effort abſolu de la voile étant comme ſon étenduë ou comme le quarré des dimenſions ſimples du Navire, ſon effort relatif ou ſon moment qui s'occupe à produire l'in-

Fig. 100. clinaison & qui dépend encore une autre fois de la hauteur de la mâture, seroit comme le cube; & ce seroit donc assez pour le contrebalancer, que de la seule pesanteur du Navire, apliquée toujours à un même bras de levier gQ. Il suit de là que les Navires grands ou petits, mais extérieurement semblables, dans lesquels la quantité Gg est la même, ne jouissent d'aucune distinction & portent également bien la voile. Mais il y a de la différence, aussitôt que Gg est plus grande ou plus petite; puisque la pesanteur P qui étoit déja suffisante par elle-même pour faire équilibre, est apliquée alors à un levier plus ou moins grand; ce qui oblige de rendre la mâture plus grande ou plus petite que la proportionelle.

Il ne tient qu'aux Marins de ne pas priver les plus grands Vaisseaux de cette proprieté particuliere, de mieux porter la voile, dont ils devroient jouir. Ils n'ont qu'à ne pas entasser un si grand nombre de ponts les uns sur les autres, ni les charger outre cela d'une si pesante artillerie; ce qui est cause que le centre commun de gravité G se trouve trop haut & vient presque se placer dans le métacentre même. Des Navires de la grandeur de ceux qu'on nomme du premier rang, construits à tous égards & équipés comme les Frégates, feroient sentir l'extrême avantage qu'ils recevroient de leur grandeur; & comme ils pourroient porter plus de voiles qu'ils ne font actuellement, ils singleroient beaucoup plus vite, en même tems qu'ils se comporteroient beaucoup mieux. Lorsque le vent deviendroit plus fort ou plus foible, le grand Vaisseau mériteroit encore la préference, sans que la plus grande resistance de l'eau contre sa prouë y fût un obstacle, puisque sa mâture & l'impulsion du vent seroient toujours plus grandes à proportion. Malheureusement les hommes n'ont pas eu en vûë, lorsqu'ils ont construit de plus grands Vaisseaux, tous ces avantages qui étoient si naturels & si légitimes; ils n'y ont au contraire renoncé que trop expressement, pour se détruire d'une maniere plus infaillible.

Cependant je crois que l'avantage augmente réellement

lorsqu'on passe des petits Navires aux plus grands, pourvû qu'on s'arrête à ceux de 60 ou 70 canons, ou du troisiéme rang, lesquels n'ont au plus que deux ponts & demi avec une seule dunette; jusques là la quantité dont le centre de gravité est au-dessous du métacentre, devient plus grande. Nous avons trouvé que cette quantité dans la Frégate la *Gazelle* étoit de 4 ou 5 pieds; dans les Vaisseaux de 60 canons elle sera peut-être de 6 à 7 pieds, & ces Vaisseaux pourront donc porter plus de voiles à proportion que la Frégate. Dans les Vaisseaux encore plus grands, dans ceux de 80 ou 90 canons qui ont trois ponts & deux dunettes, le poids de toutes les parties supérieures fait que le centre de gravité monte & s'aproche du métacentre, & revient se mettre seulement à 4 ou 5 pieds au-dessous. Alors la pesanteur totale étant apliquée pendant l'inclinaison à la même distance du métacentre que dans la Gazelle, sa force relative n'est plus grande que dans le seul raport des cubes, ce qui est cause que la mâture de ces Vaisseaux ne doit être grande qu'à proportion de leurs dimensions simples, & qu'ils pourroient être comparés à cette Frégate pour la marche, si la figure de leur carène n'étoit pas alterée, & s'ils n'étoient pas outre cela embarassés par leurs œuvres-mortes qui font la fonction de voiles, mais qui y nuisent, comme nous l'avons déja dit. Enfin les Vaisseaux sont-ils du premier rang, ont-ils 100, 110 ou 120 canons, avec trois ponts & demi, le centre de gravité est encore beaucoup plus haut; il n'est pas quelquefois deux pieds au-dessous du métacentre. Ainsi la pesanteur totale perd de la grandeur de son moment par le levier gQ qui est moins long; le Vaisseau ne doit plus porter si bien la voile, & doit perdre en même tems de tous ses autres avantages, bien loin de les conserver. Il arrive même souvent encore qu'on rend ces Navires moins propres pour le combat, en les chargeant d'artillerie ou en voulant les rendre plus forts; parce que devenus trop pesans & plongeant trop, la Mer pour peu qu'elle soit agitée, interdit l'usage de toutes leurs batteries inférieures.

Fig. 100.

CHAPITRE IV.

Suite du Chapitre précédent ; déterminer la limite de la plus haute mâture, & application de cette regle à quelques Navires.

I.

ON peut achever sans peine la solution du Problême que nous avons tentée : il suffit d'apliquer le principe que nous venons d'établir dans l'autre Chapitre ; aplication d'autant plus facile, qu'elle n'exige presque toujours que les seules connoissances que nous avons déja prises, & de la figure du Navire, & de l'arrangement de ses parties. Ce principe porte, que le Vaisseau ne reste dans une certaine situation inclinée, que lorsqu'il y a égalité entre le moment de la pesanteur totale par raport au métacentre g, & le moment de l'effort de la voile par raport au point F, ou au point Z, qui repond exactement au-dessus ou au-dessous du métacentre dans la direction DH du choc de l'eau sur la prouë. Tous ces points F, Z, g & le point C se confondront, lorsque la direction DH passera par le métacentre g, comme cela arrivera, lorsque les coupes verticales *a*E*b* de la carène seront circulaires. Dans la plûpart des autres cas, on pourra négliger encore l'intervale gF ; parce que si la coupe *a*E*b* n'est pas un segment de cercle, les différentes figures qu'on lui donnera feront changer à peu près également le point g que le point C. Ce n'est que dans les seuls Vaisseaux construits à la Chinoise, dans les Flutes Hollandoises & dans une espece de Frégate particuliere que nous proposerons dans la Section suivante, qu'il sera bon de ne pas regarder l'espace gF comme nul. Le flanc *a*E du Navire étant presque vertical, la direction DH du choc de l'eau doit être presqu'horisontale, & par conséquent

Fig. 100.

Digitized by Google

conſéquent les points Z ou F qui ſervent d'hypomoclion à l'effort de la voile ſe trouveront de niveau avec le centre de la partie ſumergée de la carène, ou ſeront enfoncés dans l'eau de la moitié de la profondeur du Navire. Fig. 100.

Quoi qu'il en ſoit, ſi on continue à nommer P la peſanteur du Vaiſſeau, on aura $P \times gQ$ pour ſon moment, qu'on peut toujours regarder comme connu. Outre la maniere exacte que nous avons donnée pour trouver la peſanteur totale P du Navire en meſurant la ſolidité entiere de la carène, & celle que nous avons propoſée pour trouver la ſituation du métacentre g & du centre de gravité G, nous avons fourni dans le Chapitre XI. de la ſeconde Section du Livre précédent, le moyen de trouver immédiatement, quand on le voudra, par l'expérience, le moment $P \times gQ$, pourvû que le Navire ſoit déja chargé. On trouvera ce moment pour une très-petite inclinaiſon, & on en conclura le moment $P \times gQ$, dont nous avons beſoin, qui augmente dans le même raport que le ſinus de l'inclinaiſon; auſſi-tôt que le métacentre ne change pas ſenſiblement de place. Supoſé qu'un poids de 700 livres placé à 30 pieds de diſtance horiſontale du métacentre ou du milieu du Navire, produiſît une inclinaiſon d'un degré, il faudroit placer ce même poids environ dix fois plus loin, pour produire une inclinaiſon de 10 degrés. Ainſi dans ce dernier cas le moment $P \times gQ$ ſeroit égal à 210000, produit de 700 livres par 300 pieds.

Si après cela on convient de la figure de la voile, cette figure reglera le raport qu'aura la hauteur OL comparée à la hauteur OI que doit avoir ſon centre d'effort I au-deſſus du point O, qui repond au bas de la voile. Lorſqu'on adoptera la figure rectangulaire ou qu'on fera les voiles également larges par en haut que par en bas, LO ſera double de IO; ſi la voile étoit un triangle iſocelle, dont le ſommet fût en haut, LO ſeroit triple de IO. On aura en général $LO = m \times IO$, & m ſera toujours donnée, quoiqu'on ne connoiſſe ni l'une ni l'autre hauteur. Les largeurs de la voile ſont auſſi reglées; elles le ſont ſur celles du

Fig. 106. Navire. Je nomme L la largeur moyenne de la voile; ainsi son étenduë sera $m \times L \times IO$ produit de la hauteur $m \times IO$ par la largeur; cette étenduë sera énoncée, si on le veut, en pieds quarrés; & si E designe l'effort que fait le vent sur chaque pied quarré, nous aurons $m \times E \times L \times IO$ pour l'impulsion totale qu'il ne reste plus qu'à multiplier par FI, pour avoir son moment ou sa force relative $m \times E \times L \times IO \times FI$, qui doit conserver une parfaite égalité avec le moment $P \times gQ$ de la pesanteur du Vaisseau. Je divise ces deux momens par la même quantité $m \times E \times L$, & j'obtiens l'équation $IO \times FI = \frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$.

La vitesse absoluë du vent étant donnée, on pourroit chercher l'impulsion E qu'il doit faire par sa vitesse relative; mais comme on éleveroit le Problême au quatriéme degré, & qu'outre cela il n'est pas tant ici question de trouver la hauteur précise de la mâture, que de déterminer la limite de sa plus grande élevation, il vaut sans doute mieux regarder la vitesse respective même du vent comme donnée, de même que son impulsion E. Ainsi dans l'équation $IO \times FI = \frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$ le second membre est entierement connu; & il n'est par conséquent question pour construire cette équation, que de déterminer le point I où doit repondre le centre d'effort de la voile; en faisant ensorte que le rectangle de IO par FI soit effectivement égal à $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$.

Le Problême se réduit à trouver deux quantités IO & IF dont on connoît la différence OF, de même que le produit de l'une par l'autre. Il suffit pour cela d'élever au mât, au point O, qui repond au bas de la voile, une perpendiculaire OY égale à la racine quarrée du second membre $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$; & si on prend après cela pour centre le point X qui est exactement au milieu de FO, & qu'on décrive un demi-cercle IYΔ qui passe par le point Y; ce cercle rencontrant le mât en I, indiquera l'endroit où doit ré-

Digitized by Google

pondre le centre d'effort de la voile. Car la proprieté du cercle rend le rectangle de IO par OΔ égal au quarré de OY ou à $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$; mais OΔ étant égal à FI, le rectangle de IO par FI sera aussi égal à $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$, comme il étoit question de le faire. Fig. 109.

Au reste cette construction ne peut pas manquer de se reduire aisément au calcul, comme il arrive dans la plûpart des Problêmes qui ne sont que du second degré. Dans le triangle rectangle XOY nous connoissons les deux côtés XO & OY; le premier est la moitié de la hauteur OF du bas de la voile au-dessus du point qui sert d'hypomoclion à l'effort du vent, & le second côté OY est égal à la racine quarrée de $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$ qui n'est autre chose que la pesanteur totale P du Vaisseau multipliée par la distance horisontale gQ de sa direction au métacentre, & divisée ensuite par m, qui exprime le nombre de fois que la hauteur de la voile est plus grande que la hauteur de son centre d'effort, par E qui désigne l'impulsion du vent sur un pied quarré de surface, & enfin par la largeur L de la voile. Il n'y aura donc qu'à resoudre le triangle XOY pour avoir l'hypothéneuse XY; & on aura en même tems XI, dont il ne restera plus qu'à retrancher XO, pour avoir la hauteur requise OI du centre d'effort de la voile. Enfin multipliant OI par la quantité m, on aura la hauteur même OL de la voile, sur laquelle on reglera celle du mât.

II.

Application du Problême précédent à un Vaisseau du premier rang.

Proposons-nous, pour éclaircir toute cette matiere, de découvrir la plus grande hauteur qu'on peut donner à la mâture d'un Vaisseau du premier rang, dont la pesanteur totale P est de 3300 tonneaux ou de 6600000 livres,

Fig. 100. & dont le centre de gravité G eſt 2 pieds au-deſſous du métacentre g. Si l'on ſouhaite que la plus grande inclinaiſon de ce Vaiſſeau ne ſoit que d'environ 9 $\frac{1}{2}$ degrés, le bras de levier gQ ne ſera qu'environ $\frac{1}{3}$ pied à proportion de gG qui eſt de 2, & on aura 2200000 pour le moment $P \times gQ$, moment qu'on découvrira ſi on le veut également par l'expérience, comme nous l'avons dit. Supoſons outre cela pour plus de facilité, & comme on le peut preſque toujours, que la direction DH du choc de l'eau paſſe par le métacentre; ce qui réunit en un ſeul les quatre points g, Z, F & C; & ſupoſons que le bas O de la voile eſt élevé, à cauſe des ponts, de 20 pieds au-deſſus du point F ou du point g. Il nous faut voir maintenant la largeur que nous devons donner aux voiles; de même que la plus grande force du vent qu'il eſt à propos que le Vaiſſeau puiſſe ſoutenir.

Les voiles, on ne peut guéres les faire par en bas que de deux fois la largeur du Vaiſſeau ou 96 pieds, en ſupoſant que le Vaiſſeau en a 48. Par en haut, je crois qu'on peut rendre les baſſes voiles beaucoup plus larges; c'eſt à l'expérience à nous aprendre de combien; je les avois, ce me ſemble, renduës beaucoup trop étenduës dans mon Traité de la mâture; mais donnons leur deux largeurs & demi du Vaiſſeau, ou preſque trois largeurs. Enfin ſuprimons le perroquet, & formons la voilure comme un exagone irregulier qui reſulte de l'aſſemblage de deux trapezes égaux, ſi on le veut, qui ſe joignent par leur plus grand côté; ainſi que le repréſente la figure 46. L'un ſera la voile baſſe & l'autre la ſupérieure ou le hunier, & le centre d'effort ſera au milieu de la hauteur des deux voiles ou ſur la vergue même qui les ſépare; ce qui rendra, $m = 2$. Les largeurs étant de 96 pieds, & de 120, la largeur moyenne ſera de 108, & ſi les voiles des deux principaux mâts ſont déployées, comme nous devons le ſupoſer ici, & ſi elles étoient outre cela égales, il faudroit prendre 216 pour la largeur totale; ſi ce n'eſt que le vent fait beaucoup plus d'impreſſion lorſqu'il frape avec un peu moins d'obli-

Digitized by Google

quité, quoi qu'il ne découvre ensuite qu'une moindre partie des voiles de l'avant. Il n'est pas fort difficile de déterminer les circonstances de cette plus grande impulsion *; mais nous n'assignons que 170 pieds à la largeur totale L. Enfin si on veut que la vitesse respective du vent soit de 35 pieds par seconde, le vent fera une impulsion d'environ 3 livres sur chaque pied quarré de surface qu'il frapera perpendiculairement; mais il y a trois reductions à y faire, dont deux sont assez considerables. Premierement le vent ne choque pas les voiles à angle droit, & l'angle d'incidence qui rend ici l'impulsion la plus grande qu'il est possible, n'est guéres que de 65 degrés. Cet angle, en second lieu, est encore diminué par l'inclinaison du Vaisseau & des voiles; & enfin il ne faut prendre de l'effort absolu du vent que la seule partie qui agit perpendiculairement à la longueur du Navire; puisque c'est cette seule partie qui tend à le faire coucher sur le côté. Tout cela me fait conclure, & on peut s'en assurer aisément par le calcul, qu'on ne peut mettre qu'à deux livres, au plus, l'effort E sur chaque pied quarré. Fig. 100.

Nous connoissons donc maintenant les quantités $P \times gQ = 2200000$, $m = 2$; $L = 170$, & $E = 2$; & nous aurons $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L} = 3235$ qui est le quarré de la perpendiculaire OY. Il ne tient qu'à nous, après cela, d'achever la solution du Problême, ou par une construction geométrique ou par suputation. L'autre côté XO du triangle rectangle XOY est de 10 pieds, moitié de FO ou de gO qui est de

* La regle dont on peut se servir, mais que ce n'est pas ici le lieu de démontrer, parce qu'on ne se propose pas de donner un Traité de Manœuvre, consiste à faire ensorte que la largeur de la partie de la mizaine ou de la voile de la proue, qui est découverte par le vent, jointe avec la largeur entiere de la grande voile, fasse une somme précisement égale à la distance diagonale qu'il y a depuis le côté de la grande voile qui est sous le vent, jusqu'au côté de la mizaine qui est au vent. Lorsqu'un des mats a plus de hauteur que l'autre, il n'y a qu'à, par la pensée, retrancher l'excès de la hauteur & supléer sur la largeur de la voile le retranchement fait à son étenduë sur l'autre dimension. Mais la regle n'est toujours que sensiblement exacte; parce qu'elle supose que la vitesse du vent est infinie par raport à celle du Navire.

Fig. 100. 20 ; & l'hypothéneuse XY sera d'environ $57\frac{2}{3}$, de même que XI. Par conséquent OI sera de $47\frac{4}{5}$ pieds, & l'assemblage des voiles de chaque mât ne doit avoir au plus que $95\frac{1}{3}$ pieds de hauteur. On verra dans le Chapitre suivant les raisons que nous avons de faire les deux mâts également hauts.

Il faut bien remarquer, que l'erreur qu'on commet en confondant le point F avec le métacentre g, ne peut guére tirer à conséquence, parce que la quantité gF est toujours très-peu considérable par raport à la hauteur de la mâture. La plus grande attention qu'il faut avoir, c'est lorsqu'on ne détermine pas le moment $P \times gQ$ par l'expérience, de chercher avec assez de précision la situation du centre de gravité G par raport au métacentre, parce que ces deux points n'étant toujours que trop proche l'un de l'autre, pour peu qu'on se trompât dans la quantité Gg qui les sépare, on commettroit une erreur extrémement sensible dans le moment $P \times gQ$.

Application du même Problême à la Frégate la Gazelle.

C'est une incommodité considérable que d'être obligé de recommencer l'opération pour chaque Navire ; mais on ne peut pas l'éviter, sans retomber dans le défaut que nous avons reproché aux regles vulgaires. Cependant beaucoup de choses sont communes. Si nous voulons trouver, par exemple, la limite de la plus grande hauteur de la mâture de la *Gazelle*, dont le poids total est d'environ 400 tonneaux, ou d'environ 800000 livres, & qui a son centre de gravité G environ $4\frac{1}{2}$ pieds au-dessous du métacentre g ; nous pouvons admettre la plus grande partie des supositions que nous avons faites pour le Vaisseau du premier rang. Le bras du levier gQ sera d'environ 9 pouces ou $\frac{3}{4}$ pied, la sixiéme partie de gG, & nous aurons 600000 pour le moment $P \times gQ$. La largeur moyenne de chaque voile sera de $56\frac{1}{4}$ pieds, & nous pourrons prendre 89 pieds pour la largeur totale L qui est exposée à l'impulsion. En-

Digitized by Google

fin nous ferons également $m=2$ & $E=2$; ce qui nous Fig. 100.
donnera 1685 pour la valeur de $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$; & si le bas des voiles est élevé de 6 pieds au-dessus du point F ou du métacentre g, & que nous achevions la solution, nous trouverons un peu plus de 41 pieds pour XI & de 33 pour OI; de sorte que la plus grande hauteur OL de la voilure sera d'environ 76 $\frac{1}{4}$ pieds. Ordinairement une assez grande différence dans la largeur en aportera une moindre dans la hauteur : si au lieu de faire la largeur totale de 89 pieds, on la fait de 94 pieds ou de 5 pieds plus grande, la hauteur OL se trouvera de 74 pieds ou de 2 $\frac{1}{4}$ pieds plus petite.

CHAPITRE V.

Dans lequel après avoir repondu à quelques objections, on examine laquelle des dimensions des voiles on doit s'attacher à augmenter, & s'il est à propos que les différens mâts d'un Navire soient de différentes hauteurs.

I.

NOUS avons regardé dans la solution du Chapitre précédent la situation du centre de gravité du Navire comme donnée; c'est supposer en partie ce qui est en question, puisque la pesanteur de la mâture fait partie de celle du Vaisseau. Mais on sçaura toujours assez d'avance le poids de la mâture & ses dimensions, pour ne se pas tromper sensiblement dans la place qu'on assignera à ce point : & supposé qu'on eût commis une erreur considérable, il n'y auroit qu'à recommencer la solution une seconde fois. Si on ne se permettoit pas d'écarter ainsi les difficultés, en mettant de la distinction entre les circonstances qui n'influent que peu dans le résultat, & celles qui y ont beaucoup de part, on seroit arrêté à chaque pas,

& les Problêmes dont nous sommes venus à bout le plus aisément, deviendroient presque toujours intraitables.

II.

Nous éludons une difficulté bien plus grande, qui ne se presenteroit à nous que trop, si nous ne nous proposions pas de reformer la figure même du Vaisseau. Nous voulons que nos Navires soutiennent le plus grand effort du vent, & nous suposons pour cela qu'ils portent l'inclinaison le plus loin qu'il est possible. Mais il n'est pas certain qu'il y ait à y gagner : l'expérience prouve souvent au contraire qu'il vaut mieux donner moins de voilure & rendre l'inclinaison moins considérable, pour singler plus vite ; parce que le choc de l'eau se trouve ensuite moins grand. Ce seroit donc un nouveau Problême à resoudre : il faudroit chercher l'inclinaison la plus avantageuse, ou celle qui rend la résistance de l'eau la moindre à proportion de la voilure : la difficulté apartiendroit presque toujours à la Geométrie transcendente ; car la loi que suivent les impulsions lorsque le choc de l'eau se fait sur différentes parties de la carène, doit être fort compliquée ; & il faudroit faire entrer cette considération dans la question qu'on traite actuellement. Mais on peut remarquer que ce qui étoit un sujet de Problême pour presque tous les Auteurs qui ont traité de la mâture, n'en est point pour nous ; parce que nous nous proposons de faire ensorte, en reformant la figure de la carène, que le Vaisseau single le mieux qu'il est possible, lorsqu'il est incliné d'une quantité donnée. Cet expedient fera que nous gagnerons de toutes manieres en étendant les voiles & en faisant augmenter assez l'effort du vent pour porter l'inclinaison jusqu'au terme prévû ; car en même tems que cette plus grande impulsion fera accelerer le sillage, elle obligera encore le Vaisseau d'aller chercher cet état, dans lequel on sçait qu'il doit marcher avec plus de vitesse.

III.

Digitized by Google

III.

Au ſurplus, on trouvera preſque toujours par l'aplication de notre régle, qu'il faut, conformement à ce que nous avons déja dit, s'attacher à diminuer de la hauteur de la mâture, & c'eſt ce qui deviendra encore plus néceſſaire lorſqu'on voudra donner aux voiles la diſpoſition abſolument parfaite. On y trouveroit toujours de l'avantage; quand même on ne réuſſiroit pas à reparer du côté de leur largeur ce qu'on perdroit ſur leur hauteur : au lieu qu'on peut aſſurer qu'il n'y a au contraire rien à gagner en ſe conformant à l'ancien uſage. Tout ce que les Marins peuvent nous répondre, c'eſt qu'il eſt à propos de conſerver la grande hauteur des voiles, afin de recevoir le vent qui eſt plus rapide en haut, & de profiter de cette plus grande force. On reconnoît effectivement, en meſurant la viteſſe des nuages, par celle de leur ombre, que le vent eſt ſouvent en haut à 7 ou 8 cens toiſes au-deſſus de la Terre, deux fois plus rapide qu'il n'eſt en bas; c'eſt ce que j'ai expérimenté pluſieurs fois, & j'ai auſſi trouvé avec l'*anémometre*, qu'une hauteur de 50 ou 60 pieds faiſoit preſque toujours augmenter d'une cinquiéme ou d'une quatriéme partie ſon impulſion. Sans doute qu'en Mer où il n'y a point d'obſtacle en bas qui arrête le vent, la différence eſt beaucoup plus petite. Cependant on veut bien ici la ſupoſer plus grande, & la regarder comme exceſſive: on ſoutient malgré cela qu'il vaut mieux diminuer de la hauteur des mâts, en élargiſſant en même tems les voiles; & qu'on ne ſçauroit être trop attentif à procurer ces deux changemens.

Tous les Lecteurs diſtinguent maintenant l'effort que fait la voile pour faire marcher le Navire, de celui qu'elle fait pour le faire incliner. Ces deux effets ſont ſi différens, quoique le premier produiſe le ſecond, qu'on peut faire augmenter l'un à volonté, en même tems qu'on fait diminuer l'autre. On ſouhaite, dans le cas préſent, que le

Vaisseau porte l'inclinaison jusqu'à un certain terme déterminé, & que la force relative qu'a la voile pour produire cette inclinaison soit par conséquent toujours la même. Ainsi on ne doit retrancher de la hauteur de la mâture qu'autant qu'on peut reparer cette perte par la largeur. Mais comme la surface de la voile, ajoutée par les côtés, sera plus basse que la surface retranchée par le haut, ou qu'elle sera apliquée à un bras de levier moins long, il faudra qu'elle ait non-seulement plus d'étenduë, mais qu'elle reçoive aussi plus d'impulsion de la part du vent: autrement elle auroit moins de moment ou de force relative, il n'y auroit pas une exacte compensation à cet égard; & le Navire s'inclineroit moins qu'il ne faisoit. En un mot, toutes les fois qu'on diminuë la hauteur de la mâture, on acquerre la liberté ou le droit de donner plus d'étenduë aux voiles, & de gagner plus de surface dans le sens de la largeur, qu'on n'en a perdu dans celui de la hauteur. On est maître d'user de tout ce droit, ou de n'en user qu'en partie, afin de rendre la mâture plus legere, & de pouvoir diminuer aussi, si on le veut, la pesanteur du lest ou de la charge par en bas. Cependant le Navire ne s'inclinera pas davantage; & la résistance de l'eau restant la même du côté de la carène, ou étant plus petite, l'effort absolu du vent qui sera effectivement plus grand, sans avoir plus d'obstacle à vaincre, ne pourra pas manquer de rendre le sillage plus prompt.

IV.

C'est en suivant à peu près le même raisonnement, que nous pouvons décider s'il est à propos que les mâts d'un Navire soient de différentes hauteurs, conformement à l'usage ordinaire, ou si on doit les faire tous également hauts. Suposons qu'on ait élevé extrémement le grand mât par raport à celui de mizaine, & que malgré cela le moment total de toutes les voiles de ces deux mâts, n'ait que la grandeur convenable, ou soit précisement égal au moment de la pesanteur du Navire. Si on diminue la hauteur

du grand mât d'une très-petite quantité, d'une quantité infiniment petite si on le veut, le moment particulier de ses voiles, ou la force relative qu'elles ont pour faire incliner le Navire, souffrira un peu de diminution, à cause du retranchement qu'il faudra faire à leur hauteur; & il faudra par conséquent augmenter la hauteur du mât de mizaine & de ses voiles pour reparer cette perte, & faire que le moment total soit toujours le même; ou que l'inclinaison du Navire soit toujours de la même quantité. Mais on doit remarquer que puisque la petite partie qu'il faudra ajouter à la hauteur du mât de mizaine, sera moins élevée audessus du Vaisseau que la petite partie qu'on aura retranchée du grand mât, l'égalité dans le moment total ne pourra être conservée, que lors que la partie ajoutée aux voiles de mizaine sera plus grande que celle qu'on aura retranchée des voiles du grand mât; & il est clair qu'il faudra qu'elle soit plus grande dans le même raport que le grand mât est plus haut que l'autre. Ainsi il se trouvera un avantage réel dans le changement que nous proposons: quoique le moment ou la force relative des voiles, pour faire incliner le Navire, ne souffre aucune altération, leur étenduë, & par conséquent l'impulsion absoluë du vent qui s'occupe à faire accelerer le sillage, sera plus grande. Or ce sera la même chose si on repete le même changement une infinité de fois, jusqu'à ce que le grand mât ayant perdu peu à peu tout son excès de hauteur sur l'autre, ils soient devenus égaux; & ce sera encore la même chose, lorsqu'il y aura un plus grand nombre de mâts.

On peut excepter de cette regle le mât d'artimon, parce que ses voiles sont plutôt destinées à faire tourner le Navire dans différens sens, qu'à le faire marcher. Mais à l'égard du mât de mizaine & de celui que les Marins nomment grand mât, parce qu'ils lui donnent effectivement toujours plus de hauteur, il ne se présente aucune exception contre les raisons qu'on vient d'alleguer. Si les voiles de mizaine sont plus étroites, parce que le Navire est moins large vers la prouë, ce n'est du tout point un mo-

tif pour diminuer auſſi leur hauteur, lorſqu'il eſt démontré au contraire qu'il n'y a qu'à gagner & nul riſque à courir, lorſqu'on l'augmente. D'ailleurs cet excès d'élevation que nous voulons donner à ces voiles, n'en rendra pas la manœuvre plus difficile : elle ſera toujours moins penible que celle des voiles de l'autre mât qui ſont plus larges.

CHAPITRE VI.

Un Navire étant donné ou déja conſtruit, déterminer la mâture la plus avantageuſe qu'il peut recevoir, lors qu'on a la liberté de le faire enfoncer plus ou moins dans l'eau.

NOUS pourrions nous diſpenſer de travailler à la ſolution de ce Problême, par les mêmes raiſons que nous avons alleguées dans l'article II. du Chapitre précédent : car de même que nous nous propoſons de donner à nos Vaiſſeaux la figure la plus parfaite, pour le cas dans lequel ils s'inclinent d'une quantité déterminée, nous aurons auſſi toujours en vûë un certain degré d'enfoncement précis pour leur carène. Cependant comme l'occaſion ne manquera jamais de mâter quelques Navires conſtruits ſans deſſein & comme au hazard, nous allons inſiſter ici ſur la maniere de ſatisfaire à la difficulté : nous le faiſons d'autant plus volontiers, qu'on pourra, en employant le même moyen, reſoudre toutes les difficultés qui s'offriront ſur le même ſujet, ſans excepter celle dont nous parlions au commencement de l'autre Chapitre.

I.

On ne peut guére ſe diſpenſer dans ce Problême, ainſi que nous l'avons dit dans le premier Livre, auſſi-tôt qu'on veut deſcendre aſſez dans le détail pour que l'examen ſoit

de quelque utilité pour la pratique, d'avoir recours à quelque espece d'aproximation ou de voyes mécaniques. Il suffira néanmoins toujours, à ce que nous croyons, de considerer le Navire en trois ou quatre états différens, renfermés entre des limites qu'il sera toujours facile de reconnoître. La carène ne doit pas plonger jusqu'à faire entrer dans l'eau ses plus grandes largeurs; il est nécessaire qu'elles restent élevées au-dessus de la surface de la Mer d'une certaine partie *du creux*, comme d'une huitiéme ou d'une neuviéme. Voilà déja un des termes qu'il n'est pas permis de violer; & c'est celui du plus grand enfoncement. Le second est un peu plus indécis : car outre l'enfoncement, qui est absolument nécessaire pour soutenir le poids particulier du Navire, il faut toujours mettre quelque lest ou quelque charge dans la cale, ce qui augmente encore ce premier enfoncement. Mais enfin la difficulté ne sera jamais grande, l'opération seulement sera longue, de chercher les dimensions de la mâture pour ces deux différens états, & pour quelques autres pris entre deux. Les voiles auront toujours la même largeur; il n'y aura que leur hauteur qui sera sujette à changer, selon que le Navire se trouvera avoir plus ou moins de stabilité, ou de force pour soutenir l'effort du vent. Il ne restera plus après cela qu'à examiner la grandeur de l'impulsion de l'eau sur la partie de la proue actuellement choquée. La méthode que nous avons donnée pour cet examen dans le Chapitre VI. de la premiere Section de ce troisiéme, a cet avantage qui lui est propre, que comme on partage la proue en plusieurs tranches par des plans horisontaux, on pourra toujours avec une extrême facilité retrancher de l'impulsion que recevroit la surface entiere, toutes les portions qu'on voudra. Or il ne sera plus ensuite question que de s'arrêter au degré précis d'enfoncement de la carène, qui rend l'étenduë des voiles la plus grande qu'il est possible par raport à l'impulsion de l'eau : car on sçait que c'est cette disposition qui doit procurer la plus grande célerité au sillage. Il est inutile, ou plutôt il est dangereux, de rendre l'impul-

sion du vent absolument la plus forte, & il ne le seroit pas moins de faire que la resistance de l'eau contre la prouë fût très-petite : l'avantage consiste à rendre la premiere de ces forces la plus grande qu'il se peut, relativement ou eu égard à la seconde, comme nous l'avons déja dit tant de fois. Il n'y aura donc qu'à diviser toujours l'étenduë des voiles ou la hauteur de la mâture par l'impulsion de l'eau dans chaque cas ; sans qu'il soit nécessaire pour cela de reduire ces grandeurs à la même espece : le plus grand exposant ou le plus grand quotient marquera la disposition qu'il faut adopter ; parce qu'il sera l'*argument* de la plus grande vitesse.

On pourra résoudre de la même maniere la plûpart des autres questions qui se présentent touchant *l'assiete*, & il n'y aura pas plus de difficulté à déterminer d'avance la profondeur qu'on doit donner aux Navires, & toutes les autres dimensions de leur carène, lorsqu'on travaillera à en faire le projet. Il ne sera pas nécessaire d'instituer chaque fois un calcul entierement nouveau : il suffira presque toujours de faire trois ou quatre hypothéses, afin de voir distinctement quel est le progrès de ces exposans dont nous venons de parler, & de sçavoir dans quel sens ils augmentent. Nous avouons encore une fois que toutes ces opérations sont un peu longues ; mais elles cesseront de le paroître, lorsqu'on fera attention qu'on peut les reduire à quelques heures de travail, à l'aide d'un peu d'exercice. Qu'on pense outre cela que plusieurs Vaisseaux ne se trouvent très-mauvais voiliers, qu'ils ne marchent très-mal, ou qu'ils ne sont exposés au péril de verser aussi-tôt que le vent devient un peu fort, que parce qu'on ne réussit pas à trouver la disposition particuliere qu'ils demandent ; quoi qu'on la cherche quelquefois en Mer pendant dix ou vingt ans, ou pendant tout le tems de leur service.

Si les différentes étenduës des voiles exprimées numériquement pour chaque cas, ne se divisoient pas commodement par les impulsions de l'eau, il n'y auroit, si on le vouloit, qu'à augmenter ces premieres quantités d'un

certain nombre de zéros ; puisqu'il n'importe que ces exposans soient plus ou moins grands, & qu'il ne s'agit que de voir la grandeur qu'ils ont les uns par raport aux autres. Plus on en aura calculé un grand nombre, mieux on s'assurera de la loi qu'ils suivent, & on en inferera mieux la grandeur qu'ils doivent avoir dans tous les autres cas. On y réussira toujours sans peine, en les comparant à une expression générale, mais indéterminée, qu'on rendra spécifique en l'accommodant aux circonstances particulieres, ou en l'assujettissant aux exposans déja trouvés. Suposé qu'on eût calculé quatre de ces exposans, il n'y auroit qu'à prendre pour leur expression générale une quantité formée de quatre termes, comme $lz^3 + mz^2 + nz + p$, dans laquelle les coëfficiens l, m, n, p sont indéterminés, pendant que la variable z désigne les divers enfoncemens de la carène, non pas ses enfoncemens absolus ; mais leurs excès à l'égard du premier ou du moindre, c'est-à-dire, les quantités verticales dont on supose que le Navire cale davantage dans les autres cas que dans le premier. La variable z désigneroit également ou l'inclinaison du Navire ou la quantité dont il plonge plus vers la poupe que vers la prouë, ou toute autre circonstance, si elle faisoit le sujet de la question.

Mais au lieu de suposer ici quatre exposans connus, nous n'en considererons que trois, pour une plus grande simplicité ; & nous nous bornerons à l'expression $mz^2 + nz + p$ qui est alors suffisante. Nous nommerons a, b & c ces trois exposans ; & nous suposerons que les trois différens enfoncemens de la carène pour lesquels ils sont calculés, se surpassent également de la quantité e. Ainsi ces exposans apartiendront aux trois cas dans lesquels z sera égale ou à *zéro*, ou à e, ou à $2e$; & nous n'aurons donc qu'à introduire successivement ces trois valeurs de z dans l'expression générale $mz^2 + nz + p$, pour l'obliger de devenir égale aux trois quantités a, b & c. Nous aurons, en un mot, les trois équations, $p = a$; $me^2 + ne + p = b$; $4me^2 + 2ne + p = c$, par le moyen desquelles nous pouvons confor-

mement aux regles ordinaires d'Algébre, chasser *m*, *n* & *p*; & notre expression générale des exposans deviendra $\frac{a-2b+c}{2e^2} \times z^2 - \frac{3a+4b-c}{2e} \times z + a$ qui ne contient plus, comme on le voit, que des grandeurs connuës, puisqu'il faut considerer comme telle la variable *z*. Nous pouvons donc maintenant, à l'aide de cette expression, trouver les exposans ou les *argumens* de la vitesse du sillage pour tous les cas que nous voudrons; & il ne reste plus qu'à en déterminer le *maximum*, pour connoître la disposition la plus avantageuse, ou celle qui rend l'étenduë des voiles la plus grande qu'il est possible, eu égard à la résistance de l'eau contre la prouë. Il n'y a enfin qu'à prendre la differentielle & l'égaler à zero; & on en déduira $z = \frac{3a-4b+c}{2a-4b+2c} \times e$, *formule* qui résoud effectivement le Problême, en nous aprenant l'excès précis *z* d'enfoncement dont il faut faire caler la carène, pour que le Navire, avec la mâture convenable, single le plus vite qu'il est possible.

Suposons, pour en donner un exemple, que 1°. Pour le moindre enfoncement de la carène, la mâture que peut soutenir le Navire n'ait que 84 pieds de hauteur, ce qu'on trouvera par les regles exposées ci-devant, & qu'alors la résistance que souffre la prouë soit la même que si l'eau choquoit perpendiculairement une surface plane qui eût 42 pieds quarrés d'étenduë. 2°. Que lorsque la carène enfonce dans l'eau de deux pieds de plus, la hauteur de la mâture soit de 117 pieds, & qu'alors la surface convexe de la prouë se reduise, quant à la résistance qu'elle éprouve de la part de l'eau, à une surface plane de 45 pieds quarrés; & qu'enfin 3°. Lorsque le Navire cale encore de deux pieds de plus, la mâture doive avoir 120 pieds de hauteur, & que la surface de la prouë se réduise à un plan de 50 pieds quarrés. Nous multiplierons d'abord, pour la commodité du calcul, ou pour éviter les fractions, les trois différentes hauteurs de la mâture par un nombre arbitraire 5, & divisant ensuite ces trois produits par l'étenduë des plans

plans aufquels la furface courbe de la proue fe réduit dans chaque cas, nous trouverons 10, 13 & 12 pour les trois expofans a, b & c, ou pour les trois différens degrés d'avantages qu'a le Navire dans les trois hypothéfes ou diverfes difpofitions. Enfin introduifant ces derniers nombres dans la formule, en mettant deux pieds à la place de e; nous trouverons $z \left(= \frac{3a - 4b + c}{2a - 4b + 2c} \times e\right) = 2\frac{1}{2}$; ce qui nous aprend, qu'au lieu de s'arrêter au premier cas ou au fecond, on doit faire caler le Navire de $2\frac{1}{2}$ pieds plus que dans le premier, ou de $\frac{1}{2}$ pied plus que dans la fecond, & que c'eft pour ce degré précis d'enfoncement qu'on doit difpofer réellement la mâture. Il eft vrai que cette folution n'eft qu'aprochée ; puifque nous fupofons que les expofans changent felon une loi qu'ils ne peuvent fuivre exactement que par hazard. Mais en tout cas, fi l'on craignoit quelque erreur, il n'y auroit qu'à recommencer la folution une feconde fois, après avoir calculé les trois premiers expofans pour trois enfoncemens moins différens les uns des autres, & plus voifins de celui que la premiere folution auroit fourni. Un dernier avis que nous ne devons pas oublier, quoi qu'il ne foit que pour quelques Lecteurs ; c'eft que fi le fecond expofant b étoit le plus petit des trois, notre formule ne donneroit pas alors un *maximum*, mais un *minimum* : ainfi au lieu de s'arrêter à la difpofition qu'elle indiqueroit, il faudroit au contraire s'en éloigner le plus qu'il feroit poffible.

II.

La difficulté qui oblige dans ce Problême d'avoir recours aux méthodes d'aproximation, lorfqu'on veut le traiter d'une maniere utile pour la pratique, vient de ce qu'on ne peut pas confiderer les Navires comme des corps géométriques ou homogènes, & de ce qu'il n'eft pas aifé non plus d'avoir une expreffion générale de l'impulfion de l'eau fur les différentes portions de leur carène. Nous allons,

afin de repandre un plus grand jour ſur la queſtion, tacher néanmoins de la réſoudre d'une maniere plus rigoureuſe, pour les Navires formés en parallelipipede rectangle : cette figure à ſes avantages, comme nous l'avons aſſez montré ; d'ailleurs notre examen ne ſe fera pas ſans fruit ; il ſera ſuſceptible d'aplication.

Fig. 61. Supoſons que la figure 62 repréſente la coupe de ce Navire, faite perpendiculairement à ſa longueur. Je nomme *a* ſa demie largeur FB ; *b* la hauteur de ſon centre de gravité particulier au-deſſus du fond E de la carène ; *c* la moindre quantité dont il faut qu'il plonge pour que l'eau déplacée ſoit capable de le ſoutenir, lorſqu'il n'a point de charge ; *m* la peſanteur ſpécifique de la matiere qui doit ſervir de leſt ; *n* celle de l'eau marine ; & *x* l'enfoncement du Navire, lorſqu'il ſera chargé.

Toutes ces choſes ſupoſées ; nous trouverons la hauteur du centre de gravité commun du Navire & de ſa charge en ſuivant le même procedé que dans le Chapitre X. de la ſeconde Section du ſecond Livre. La peſanteur particuliere du Navire le fait enfoncer dans l'eau de la quantité *c* ; nous prendrons cet enfoncement pour l'expreſſion de cette peſanteur particuliere, & nous aurons *bc* pour ſon moment par raport au fond de la carène, qui ſervira de terme ou de point fixe pendant la recherche du centre de gravité. Lorſqu'on introduira le leſt dans la cale, le Navire qui plongeoit de la quantité *c*, le fera enſuite de la quantité *x* ; ainſi $x - c$ exprimera la peſanteur particuliere du leſt ; & comme ce leſt doit occuper d'autant moins de place, qu'il eſt plus peſant que l'eau marine, ou que *m* eſt plus grande que *n*, nous aurons $\frac{n}{m} \times \overline{x - c}$ pour ſa hauteur dans la cale & $\frac{n}{2m} \times \overline{x - c}$ pour celle de ſon centre de gravité. Je multiplie cette hauteur par $x - c$, qui déſigne la peſanteur, & il vient $\frac{n}{2m} \times \overline{x - c}^2$ pour le moment particulier du leſt ; moment qui étant ajouté à celui du corps

Digitized by Google

du Navire, donne $bc + \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2$ pour la somme des momens. Il ne reste plus qu'à divifer cette somme par x, qui désignant l'enfoncement total, exprime la somme des pesanteurs; il viendra $\frac{bc}{x} + \frac{n}{2m} \times \frac{\overline{x-c}^2}{x}$ pour la hauteur du centre de gravité commun au-dessus du fond E de la carène. Fig. 61.

A l'égard du métacentre, il est élevé de la quantité $\frac{a^2}{3x}$ au-dessus du centre de gravité de la partie submergée*, & par conséquent de la quantité $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x$ au-dessus du fond de la carène. Ainsi il est élevé de $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x - \frac{bc}{x} - \frac{n}{2m} \times \frac{\overline{x-c}^2}{x}$ au-dessus du centre de gravité commun du Navire & de sa charge. Il faut multiplier, comme on le sçait, cette quantité par la pesanteur totale du Vaisseau pour avoir sa stabilité, ou la force qu'il a pour soutenir l'effort du vent contre les voiles. Nous obtiendrons la pesanteur totale actuelle du Vaisseau, en nommant g sa longueur exprimée en pieds de Roy, & en multipliant cette dimension par la largeur $2a$ & par la profondeur x de la partie submergée, lesquelles doivent être aussi en pieds de Roy. Nous aurons $2agx$ pour le solide qu'il ne resteroit plus qu'à multiplier par la pesanteur du pied cubique d'eau de Mer, pour avoir la pesanteur totale. Mais comme il se fait une reduction au levier, qui à cause du peu d'inclinaison que reçoit le Navire dans les routes obliques, se trouve environ six fois plus petit, nous ne multiplierons pas la solidité $2agx$ de la partie submergée par la pesanteur entiere 72 livres du pied cubique, nous ne la multiplierons que par une certaine partie de cette pesanteur, par exemple, 12 livres que nous exprimerons généralement par p. Nous avons donc $2agpx$; & multipliant ce produit par la quantité $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x - \frac{bc}{x} - \frac{n}{2m} \times \frac{\overline{x-c}^2}{x}$ dont le centre de gravité

* Voyez l'art. 1. du Chap. 4. de la 2. Sect. du 2. Liv.

Fig. 61. commun eſt au-deſſous du métacentre, il nous viendra $2agp \times \overline{\tfrac{1}{3}a^2 + \tfrac{1}{2}x^2 - bc - \tfrac{n}{2m} \times \overline{x - c}^2}$ pour le moment de la peſanteur du Navire ou pour la force relative qu'il a pour ſoutenir la voile dans les routes obliques; force relative ſur laquelle nous devons regler la hauteur de la mâture, comme nous l'avons expliqué dans le Chapitre III. & IV. qui précédent.

Nous nommons *h* cette hauteur ou plutôt celle des voiles; *l* leur largeur commune, & *e* la quantité dont leur baſe eſt élevée au-deſſus du fond de la carène. Leur ſurface ſera *hl*, que nous multiplierons par l'effort *i* que fait le vent ſur chaque pied quarré de ſurface; ce qui nous donne *hli* pour la grandeur de l'impulſion, qui ſe réunit dans le milieu de la voile comme centre, & qui s'exerce par conſéquent ſur une direction élevée au-deſſus du fond E de la carène de la quantité $\tfrac{1}{2}h + e$. Il ne reſte plus après cela qu'à faire attention que le point qui ſert d'hypomoclion à l'effort des voiles, eſt au milieu de la partie ſumergée *. Ainſi le bras de levier auquel eſt apliqué l'effort *hli* du vent, n'eſt pas $\tfrac{1}{2}h + e$, mais $\tfrac{1}{2}h + e - \tfrac{1}{2}x$; & nous aurons donc $hli \times \overline{\tfrac{1}{2}h + e - \tfrac{1}{2}x}$ pour le moment de l'effort du vent qui doit être égal à cauſe de l'équilibre, au moment trouvé ci-devant $2agp \times \overline{\tfrac{1}{3}a^2 + \tfrac{1}{2}x^2 - bc - \tfrac{n}{2m} \times \overline{x - c}^2}$ de la peſanteur du Vaiſſeau. C'eſt-à-dire, que nous avons l'équation $hli \times \overline{\tfrac{1}{2}h + e - \tfrac{1}{2}x} = 2agp \times \overline{\tfrac{1}{3}a^2 + \tfrac{1}{2}x^2 - bc - \tfrac{n}{2m} \times \overline{x - c}^2}$ dans laquelle nous n'avons qu'à traiter *h* comme inconnuë, & reſolvant l'équation, qui ne ſera que du ſecond degré, nous découvrirons la hauteur *h* de la mâture par raport à toutes les autres quantités.

* Voyez l'art. 1. du Chap. 4. précédent.

Si on diviſe enſuite cette valeur de *h*, qui eſt proportionelle à l'étenduë des voiles par l'enfoncement *x*, qui eſt proportionel aux diverſes ſurfaces de la carène ou aux impulſions que reçoit la prouë de la part de l'eau dans les

différens cas, on obtiendra l'expression générale des quotiens ou exposans dont nous parlions dans l'article I. Ces quotiens servent d'*argumens* à la rapidité du sillage ; il n'y aura donc qu'à en chercher le plus grand. Fig. 62.

On prendra pour cela, comme à l'ordinaire, la différentielle, on l'égalera à zéro, & il ne s'agira plus que d'en déduire x, qui sera la seule inconnuë, & dont la plus haute dimension ne sera que le quarré ; de sorte que l'équation à resoudre ne sera encore que du second degré. Connoissant ainsi l'enfoncement de la carène le plus avantageux, on aprendra par de simples substitutions la quantité du lest la plus convenable, de même que la hauteur que doit avoir effectivement la mâture, pour rendre le Navire proposé capable de singler avec la plus grande rapidité possible.

On pourra souvent négliger la quantité dont le bas de la voile est élevé au-dessus du milieu de la partie sumergée de la carène ; & alors le calcul sera beaucoup plus simple. La hauteur de la mâture sera proportionelle à la racine quarrée de la stabilité $2agp \times \overline{\frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2}$ du Navire. Ainsi si elle n'est pas égale à $\sqrt{\frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2}$, elle suivra au moins toujours le même raport ; & si on la divise par l'enfoncement x, qui peut toujours exprimer les diverses impulsions que souffre la prouë, il n'y aura qu'à faire de $\frac{\sqrt{\frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2}}{x}$ un *maximum*. La différentielle de cette quantité étant égalée à zéro, donne *la formule* $x = \frac{2m}{n} b + c - \frac{2m}{3n} \times \frac{a^2}{c}$ qui satisfait au Problême.

Suposé que la demie largeur a soit de 20 pieds, la hauteur b du centre de gravité particulier du Navire au-dessus du fond de la carène de 21 pieds, & que la pesanteur particuliere du Vaisseau soit telle qu'elle produise seule un en-

Digitized by Google

foncement c dans l'eau de 7 pieds. Supofé outre cela que le left foit d'une pefanteur fpécifique double de celle de l'eau marine, de forte que fi $n = 1$, on ait $m = 2$, la formule précédente nous donnera $x = 14\frac{17}{21}$ pieds; ce qui nous aprend que le Navire propofé, qui n'enfonçoit dans l'eau que de 7 pieds lorfqu'il étoit fans charge, doit enfoncer de $14\frac{17}{21}$, pour que tout équipé, il puiffe, avec la mâture convenable, fingler le mieux qu'il eft poffible. Au refte nous ne devons pas oublier les remarques fuivantes que nous fuggere la même formule.

On doit donner une plus grande charge au Vaiffeau ou le faire caler davantage; toutes les fois 1°. Que la hauteur b eft plus grande, ou que le centre de gravité particulier du Navire eft plus élevé; toutes les fois 2°. Que la pefanteur particuliere du Navire eft plus grande, ou que fans charge il enfonce dans l'eau d'une plus grande quantité c; toutes les fois 3°. Que a eft plus petite ou que le Navire eft plus étroit; enfin 4°. Prefque toutes les fois que la pefanteur fpécifique du left eft plus grande par raport à celle de l'eau marine. Si toutes les autres circonftances étant les mêmes, le left eft, par exemple, cinq fois plus pefant que l'eau de Mer, on trouvera $26\frac{11}{21}$ pieds, au lieu de $14\frac{17}{21}$ pour l'enfoncement le plus avantageux. Il pourra arriver que le Navire ne foit pas affez profond pour caler d'une fi grande quantité : on ne pourra pas profiter alors du *maximum* que fournit notre folution, & on fera obligé de facrifier à la fureté de la navigation quelque chofe de fa promptitude; il faudra confentir à fingler un peu moins vite pour ceder au plus puiffant des interêts. Mais on fçaura toujours au moins qu'il faut faire plonger le Navire le plus qu'il eft poffible, & que c'eft pour ce plus grand enfoncement que les dimenfions de la mâture doivent être reglées. Si lorfque le Navire a 19 ou 20 pieds de profondeur, on trouvoit au contraire que fon enfoncement le plus avantageux n'eft que de 13 ou 14 pieds, on concluroit qu'une partie de fa profondeur eft inutile, au moins pour la promptitude de la marche. Ainfi nos folutions apliquées

d'avance aux Navires qui ne sont encore que projettés, aprendront toujours à en corriger les plans ou les profils & à les mieux former.

CHAPITRE VII.

De la forme que doivent avoir les Vaisseaux dans le sens de leur grosseur pour mieux porter la voile & aller plus vite.

I.

IL nous sera facile par les regles exposées dans les Chapitres précédens, de trouver les dimensions de la mâture que demande chaque Navire : quelque mal formé qu'il soit, nous trouverons toujours aisément la disposition & la grandeur de la voilure qui lui convient le mieux. Sans doute qu'il est cependant une certaine figure qui donne aux Vaisseaux plus d'avantage en cela, ou qui les rend plus propres à recevoir une bonne mâture; & nous ne devons pas manquer d'en examiner plus particulierement les conditions. Heureusement la plûpart des choses que nous avons déja dites dans le second livre touchant la stabilité des Navires, trouvent actuellement une seconde aplication; la force relative avec laquelle le Navire soutient l'effort du vent ne différant pas de celle qu'il a pour persister dans sa situation horisontale ou pour y revenir; l'une & l'autre étant le produit ou proportionelles au produit de la pesanteur par la quantité dont le centre de gravité est au-dessous du métacentre. On a vû la proprieté qu'a à cet égard la carène qui est formée en parallelipipede rectangle; c'est ce qui nous a obligé d'examiner souvent cette figure : les Chinois entreprenent d'assez longues navigations dans des Vaisseaux qui l'ont à peu près; & on pourroit d'ailleurs retrancher ce qu'elle a de nuisible, en con-

servant tout ce qu'elle a d'avantageux. Rien n'empêche de donner au moins à toutes les coupes faites perpendiculairement à la quille la forme de rectangle, en faisant terminer la carène en pointe vers la prouë & vers la poupe comme à l'ordinaire. Le Navire auroit ensuite la proprieté de bien soutenir la voile, en même tems qu'il seroit d'une capacité beaucoup plus grande.

Nous ne voyons rien de mieux pour la construction des Navires qui ne sont destinés qu'à porter un grand poids. On n'entend pas dans la rigueur qu'on fasse rectangulaires les coupes perpendiculaires à la longueur, on doit sans doute en émousser les angles; mais plus les coupes de la carène aprocheront de la figure rectangulaire, plus le Navire aura d'avantage en fait de charge & de transport. Si les coupes étoient des demi-cercles, & si on supose, comme on le doit ici, que la saillie de la prouë produise toujours une semblable diminution dans la résistance de l'eau, cette résistance se trouveroit moindre dans le même raport qu'un demi-cercle est plus petit que le rectangle circonscrit: c'est-à-dire, dans le raport de 11 à 14; & la vitesse du sillage n'augmenteroit guéres que d'une neuviéme partie, comme on peut s'en assurer par un calcul semblable à celui du Chapitre I. de la seconde Section. Mais cette plus grande célerité ne compenseroit pas, & il s'en faudroit même beaucoup, la moindre quantité de charge que le Navire porteroit ensuite; puisque sa cale seroit plus petite que celle de l'autre Vaisseau dans le raport de 11 à 14. Il faut encore ajouter de plus à l'avantage de ce dernier ou de celui dont les coupes sont rectangulaires, que si on trouve qu'il single moins vite que le premier d'une neuviéme partie: c'est en suposant qu'il n'a que la même quantité de voiles, au lieu qu'il est démontré qu'il peut en porter beaucoup plus. Ainsi la différence entre les vitesses seroit encore plus petite, elle ne seroit quelquefois que d'une quinziéme ou seiziéme partie; pendant que celle qui se trouve entre les pesanteurs de la charge subsisteroit toute entiere & que le Navire seroit presque d'un quart plus

de

Digitized by Google

de port. Or il paroît après cela qu'on ne doit point balancer à augmenter encore le plat des varangues de la plûpart des Gabares, des Flutes & de tous les autres bâtimens qui ne servent que pour le transport. Nous ajouterons que cet avantage qu'a la figure rectangulaire, sur la circulaire, toutes les figures intermédiaires l'ont aussi en partie: on augmentera toujours plus à proportion le port d'un Navire, lorsqu'on élargira sa carène par en bas, qu'on ne fera diminuer la vitesse de son sillage.

II.

Mais suposons qu'au lieu d'un Navire de charge, il s'agisse d'une Frégate legere, d'une Corvette, qui ne doit avoir d'autre usage que de passer avec la plus grande vitesse possible d'un endroit à un autre, sans être embarrassée d'artillerie ni d'aucun poids étranger, si on en excepte le lest qui est absolument nécessaire, pour contrebalancer le poids de la mâture & des autres parties supérieures. On remarquera d'abord qu'il n'est pas ici question de la figure qui fait absolument le mieux porter la voile ou qui donne plus de stabilité au Navire: car cette figure qui est celle dont nous venons de parler, feroit cause que le Navire trouveroit en même tems beaucoup plus de résistance à fendre l'eau. Ainsi la forme que nous cherchons, est celle qui augmente le plus qu'il est possible la force pour porter la voile, eu égard à la résistance que la prouë éprouve par la rencontre de l'eau.

Il paroîtra peut-être assez surprenant que la figure du Navire doive être différente, selon la pesanteur spécifique des choses dont il est chargé: ce sera cependant encore la même chose dans la suite, lorsqu'il sera question de tracer les lignes courbes qui forment les côtés de la carène dans le sens de sa longueur. Mais on peut dans l'usage ordinaire supposer toujours que le lest est deux fois plus pesant que l'eau marine, parce que si on y mêle quelques parties de fer, il faut aussi y comprendre d'autres choses beau-

coup plus legeres, comme le poids de toutes les munitions de bouche. Il ne restera plus après cela qu'à se ressouvenir du Théoreme établi dans le Livre précédent *, que lorsqu'on ajoute par en bas aux deux côtés de la carène APPB (Fig. 61.) deux triangles POp & que la pesanteur spécifique du lest est double de celle de l'eau de Mer, la stabilité du Navire qui étoit exprimée par APPB multipliée par la quantité Gg, se trouve augmentée des deux petits triangles OPp multipliés par la quantité HK dont leur centre de gravité particulier est plus bas que la surface MM du lest. C'est-à-dire, que nommant E l'étenduë AOPPOB, & e l'étenduë des deux petits triangles ajoutés OPp, on aura, comme dans l'endroit déja cité, $E \times Gg$ pour la stabilité du Navire dans le premier cas, & $e \times HK$ pour l'augmentation qu'elle reçoit dans le second; ou $E \times Gg \pm e \times HK$ pour cette seconde stabilité entiere, selon qu'on a ajouté ou retranché les deux petits triangles. L'augmentation ou la diminution, au lieu d'être $e \times HK$, sera $\overline{n - 1} \times e \times HK$, si la pesanteur spécifique du lest est plus grande que celle de l'eau marine le nombre de fois n. Il est clair après cela que le Navire doit soutenir une plus grande voilure, dans la circonstance presente, lorsque les deux petits triangles sont ajoutés; mais on doit remarquer qu'il n'est pas permis d'augmenter l'étenduë des voiles dans le même raport que la stabilité est plus grande. La voile a toujours la même largeur, puisque nous ne changeons point la largeur du Navire par en haut: il n'y a que la hauteur de la mâture que nous augmenterons plus ou moins. Mais en même tems que nous l'augmentons, son centre d'effort qui est au milieu de sa hauteur, se trouve plus haut; & cela fait que son moment augmente sensiblement comme le quarré de sa hauteur. Or comme c'est ce moment qui doit être égal ou proportionel à la stabilité du Navire, qui n'est elle-même autre chose qu'un moment, il est clair que ce n'est pas la hauteur de la voile, mais le quarré de cette hauteur, qui doit augmenter en même raison que la

* Chap. 9. Sect. 2.

Fig. 61.

ſtabilité: & il ſuit de là que la hauteur de la voile doit changer à peu près deux fois moins à proportion que la ſtabilité. Car lors qu'un quarré reçoit un très-petit changement, ſon côté n'en reçoit à proportion qu'un deux fois moindre. Fig. 61.

Ainſi lorſque la ſtabilité du Navire, qui étoit $E \times Gg$, reçoit la petite augmentation $e \times HK$ & devient $E \times Gg + e \times HK$ par l'addition des deux petits triangles OPp aux deux côtés de la carène, la hauteur de la voile ou ſon étenduë, au lieu d'être augmentée dans le raport de $E \times Gg$ à $e \times HK$ ne le doit être que dans celui de $E \times Gg$ à $e \times \frac{1}{2} HK$, ou généralement dans celui de $E \times Gg$ à $e \times \frac{n-1}{2} \times HK$. Cela ſupoſé, & nous bornant toujours au cas particulier, il ne nous reſte plus pour décider ſûrement s'il eſt avantageux d'ajouter ou de retrancher les deux petits triangles OPp, qu'à voir ſi $e \times \frac{1}{2} HK$ comparé à $E \times Gg$, eſt plus ou moins grand, que e par raport à E. Car de même que $e \times \frac{1}{2} HK$ comparé à $E \times Gg$ repréſente le petit changement qu'on peut faire à la grandeur de la voile & à l'effort total du vent, e comparée à E, exprime le petit changement que reçoit la réſiſtance de l'eau; puiſque le conoïde qui forme la prouë eſt toujours cenſé recevoir de la part de l'eau, une impulſion qui eſt une certaine partie de celle que reçevroit la ſurface E ou $E + e$ qui lui ſert de baſe.

Nous avons maintenant trois cas à diſtinguer, 1°. Si Gg eſt égal à la moitié de HK, il y aura même raport de $e \times \frac{1}{2} HK$ à $E \times Gg$ que de e à E, & comme il faudra alors augmenter l'étenduë des voiles ou leur hauteur, préciſément dans le même raport que l'étenduë E de la coupe APPB, il n'y aura ni avantage ni deſavantage à donner plus ou moins de plat aux varangues, ou à ajouter ou à retrancher les deux petits triangles OPp à la carène: car l'étenduë de la voile ſuivant préciſement le même raport dans ſon changement, que l'étenduë de la coupe APPB dans le ſien, on ne gagneroit pas plus de la part de l'impulſion du vent, qu'on ne perdroit en même tems du côté de

Digitized by Google

Fig. 61. la résistance de l'eau. 2°. Si $\frac{1}{2}$HK est plus grande que Gg, le produit $e \times \frac{1}{2}$HK sera plus grand par raport à E × Gg, que e par raport à E. On pourra augmenter par conséquent l'étenduë de la voile en plus grand raport qu'on ne fera augmenter l'étenduë de la coupe APPB, & il y aura donc de l'avantage à augmenter le plat des varangues ou à ajouter les petits triangles OPp. Enfin, 3°. Si $\frac{1}{2}$HK est moindre que Gg, le produit $e \times \frac{1}{2}$HK sera moindre par raport à E × Gg, que e par raport à E. Ainsi lorsqu'on augmentera l'étenduë E de la coupe APPB de la quantité e, on ne pourra pas procurer une si grande augmentation à l'étenduë de la voile, & il y auroit donc alors du desavantage; on perdroit plus par la plus grande résistance de l'eau, qu'on ne gagneroit du côté de l'impulsion du vent. Or c'est ici le cas qui a lieu dans les Frégates legeres & dans toutes les autres especes de Navires qui ne sont destinés qu'à bien marcher. Dans la Gazelle, par exemple, le centre de gravité G est au-dessous du métacentre g d'environ 5 pieds, en même tems que le lest peut occuper à peine dans la cale 7 ou 8 pieds de hauteur EK. La moitié de HK ne peut donc pas manquer d'être moindre que Gg, & par conséquent $e \times \frac{1}{2}$HK est toujours moindre par raport à E × Gg, que e par raport à E.

Il suit de là qu'au lieu d'augmenter le plat des varangues dans les Frégates legeres, il faut au contraire en retrancher; parce qu'on fera plus diminuer à proportion la résistance de l'eau, qu'on ne sera obligé de diminuer en même tems l'étenduë des voiles. La diminution de la résistance de l'eau sera toujours exprimée par e comparée à E, & il est évident toutes les fois que $\frac{1}{2}$HK < Gg, que cette diminution sera plus grande que celle qu'on fera à la hauteur ou à l'étenduë de la voile qui est exprimée par $e \times \frac{1}{2}$HK comparé à E × Gg, ou par $e \times \frac{\frac{1}{2}HK}{Gg}$ comparé à E. On doit donc retrecir la carène par en bas le plus qu'on peut, & il y a souvent à gagner à faire disparoître le plat des varangues. Il est vrai que toutes les supositions que nous

Digitized by Google

avons faites sur la situation du centre de gravité, sur celle du métacentre & sur la hauteur du lest, peuvent bien s'éloigner un peu du vrai ; mais elles ne s'en éloigneront jamais assez, pour nous faire tromper dans nos conclusions. Fig. 61.

Au reste on doit remarquer que s'il y a de l'avantage dans les Frégates de retrancher de l'étenduë de la carène en bas par les côtés, il n'est ici question que de toucher aux seules largeurs sans diminuer la profondeur. C'est la grandeur de cette derniere dimension qui procure au Navire, avec plusieurs autres avantages, la proprieté de dériver moins, proprieté qui doit nous être encore plus prétieuse que celle de Naviger avec promptitude. Nous avons indiqué dès le commencement de ce troisiéme Livre une cause qui contribuë peut-être beaucoup à faire diminuer la dérive, lors qu'on augmente la profondeur du Navire *. Mais outre cela, plus le Navire a de creux, plus il plonge en bas dans une eau tranquille, & moins il participe à l'agitation des vagues qui ne sont que superficielles, & qui poussant de côté dans les routes obliques, causent une dérive accidentelle, mais très-grande, qui se joint à la premiere. Le seul moyen d'y remedier, c'est de rendre la carène plus profonde.

* Voyez le Chap. 2. art. 1.

Nous conclurons cet article, en ajoutant qu'on pourra se contenter de donner aux coupes des Frégates une Figure exactement circulaire : ce sera toujours perfectionner la forme qu'elles ont actuellement. Mais nous montrerons plus bas, que si on vouloit saisir tout d'un coup la disposition la plus avantageuse, sans s'arrêter à corriger peu à peu les pratiques qui sont actuellement en usage, il faudroit rendre les flancs exactement des lignes droites depuis le haut jusqu'en bas ; & alors on donneroit à la premiere coupe la figure ou d'un trapeze ou d'un simple triangle, selon que le poids des parties supérieures du Navire, obligeroit de donner plus de plat à la varangue, ou permettroit de le suprimer entierement. Il faudroit dans ce dernier cas que les ports & les autres endroits frequentés par la Frégate ou plutôt par la corvette, n'asséchassent jamais.

Digitized by Google

Fig. 61. La premiere coupe de la carène se trouvant alors réduite à la moindre étenduë, la prouë trouveroit une moindre quantité d'eau dans son chemin, & le sillage en deviendroit plus rapide. La Corvette auroit encore un autre avantage ; elle dériveroit beaucoup moins. Car on doit se souvenir que lorsqu'on fait diminuer la résistance que souffre la prouë selon son axe, on fait augmenter au moins relativement la résistance dans le sens latéral *; & il résulte toujours de cette augmentation une moindre déviation ou dérive dans les routes obliques.

* Voyez la fin du Chap. 8. de la 1re. Sect. de ce 3e. Livre.

III.

Enfin, s'il s'agit d'un Vaisseau de guerre qui doit être considérablement chargé par en haut par le poids de ses ponts & de son artillerie, on peut le considerer comme tenant une espece de milieu entre les Frégates legeres & les Bâtimens de charge; & si sa carène ne doit pas être exactement circulaire, & avoir encore moins des triangles pour ses coupes, elle ne doit pas non plus être plate par dessous comme dans les Bâtimens de charge. A l'aide de quelques supositions & des regles précédentes, il sera toujours facile de reconnoître la figure à laquelle il faudra s'arrêter, si on veut que le Navire ait toujours la proprieté de singler avec la plus grande vitesse possible; c'est ce que nous allons éclaircir par un exemple.

Suposons qu'en donnant la figure AOPPOB à la carène dans laquelle les points O, d'où on peut tirer commodement les tangentes ou les droites O*p*, O*p*, pour élargir la carène par en bas, sont élevés de 6 pieds de hauteur verticale au-dessus de l'horisontale PP, le centre de gravité commun G du Vaisseau & de son lest se trouve $3\frac{1}{2}$ pieds au-dessous du métacentre, & que le lest ait 9 pieds de hauteur, il sera facile de reconnoître qu'on a rencontré la figure convenable, & qu'il ne faut augmenter ni diminuer le plat PP qu'on a donné à la maîtresse varangue. Car le centre de gravité H des deux triangle PO*p* qu'on pourroit ajouter ou retrancher étant au tiers de leur hau-

teur, sera élevé de 2 pieds, & sera par conséquent 7 pieds au-dessous de la surface MM du lest. Or $\frac{1}{2}$HK étant égal à Gg, il y auroit même raport de $e \times \frac{1}{2}$HK à E×Gg que de *e* à E: ainsi supofé qu'on augmentât ou qu'on diminuât l'étenduë E de la coupe APPB, de la petite quantité *e*, on ne pourroit augmenter ou diminuer l'étenduë de la voile que dans le même raport; & il n'y auroit donc rien à gagner n'y à perdre du côté de la vitesse. Or c'est ce qui caractérise, comme le sçavent tous les Géométres, le *maximum* ou la disposition la plus parfaite. Mais si la surface MM du lest, au lieu d'être élevée de 9 pieds, l'est de 10, alors $\frac{1}{2}$HK sera plus grande que Gg, & le produit E×$\frac{1}{2}$HK étant plus grand par raport à E×Gg, que *e* par raport à E, il y aura de l'avantage à élargir la carène un peu plus par en bas, & même à élever, si on le peut, les points O d'où partent les tangentes O*p*: car on pourra augmenter l'étenduë de la voile dans un plus grand raport, qu'on n'aura augmenté l'étenduë E de la coupe de la carène. *Enfin tout consiste à sçavoir si* $\frac{1}{2}$HK *est égale ou plus petite, ou plus grande que* Gg. *Si ces deux quantités sont égales, on a rencontré la figure* APPB *la plus convenable. Si* $\frac{1}{2}$ HK *est plus grande que* Gg, *il faut élargir encore la carène par en bas; & si* $\frac{1}{2}$ HK *est moindre que* Gg, *il faudra faire tout le contraire.* Fig. 61.

IV.

Mais si on veut en prenant les choses de plus loin, se décider d'une maniere encore plus sûre & qui soit aplicable aux Frégates comme aux Vaisseaux de guerre, il n'y a qu'à avoir recours à la solution générale que nous avons donnée par voye d'aproximation dans le premier article du Chapitre précédent. On n'aura qu'à calculer *l'exposant* ou *l'argument* de la vitesse du sillage pour trois différentes supositions ou hypothéses de plat PP de la varangue; & pour n'être pas obligé d'y revenir, il n'y aura qu'à former les deux flancs AP, BP par deux lignes droites qui partiront des points A & B de la flotaison même. On cherchera d'abord pour la premiere hypothése, la résistance que doit

Fig. 61. éprouver la prouë, de même que l'étenduë des voiles que peut porter le Navire; & on divisera cette seconde grandeur par la premiere. On fera la même chose, en suposant que PP est successivement plus grand d'une certaine quantité (e) & d'une quantité double ($2e$); & les trois *exposans* a, b & c étant trouvés de cette sorte, la formule $z = \frac{3a - 4b + c}{2a - 4b + 2c} \times e$ marquera la quantité z dont le plat PP de la varangue, qu'on avoit suposé en premier lieu, doit être augmenté ou diminué, pour que le Vaisseau single le plus vite qu'il est possible. Il n'importe que z soit positive ou négative, il n'y aura qu'à se conformer exactement à la formule, il est certain que le Navire marchera avec plus de rapidité. Mais on verra par une remarqueque nous ferons dans la suite, qu'il pourra arriver, lorsque z sera positive, que la dérive ne diminuë pas, quoique la vitesse du sillage devienne plus grande.

Il ne nous reste plus qu'à montrer que la figure la plus avantageuse qu'on peut donner à la premiere coupe de la carène est celle d'un trapeze ou d'un triangle rectiligne; aussi-tôt qu'on ne veut pas se permettre de courber ses flancs en dedans. Pour prouver qu'on ne doit pas aprouver les figures qu'on employe actuellement dans la Marine ni aucune autre qui en aproche, nous n'avons qu'à jetter les yeux sur la figure 54 dans laquelle la ligne AB marque la flotation ou la ligne d'eau, & OO la surface supérieure du lest qui occupe toute l'étenduë OTEVO. Je dis donc que sans nous arrêter à chercher quelqu'autre ligne courbe pour en former le contour AOEOB, nous n'avons qu'à tirer tout d'un coup les droites AP & BP, en rendant les espaces TPE & VPE de même grandeur ou un peu plus grands que les espaces ORT & OSV; & qu'il est certain que le trapeze rectiligne APPB sera plus avantageux que l'autre figure AOEOB. Premierement, le Navire aura plus de stabilité & pourra soutenir mieux la voile: car en faisant passer le lest qui occupoit les espaces ORT, OSV dans les deux autres espaces TPE, VPE, le centre de gravité du tout

tout sera plus bas, & par conséquent la charge même un peu diminuée, aura plus de moment par raport au métacentre. En second lieu, le trapeze APPB aura ordinairement un peu moins d'étenduë que n'en avoit l'autre figure, ce qui fera diminuer le volume d'eau que le Navire choque pendant sa marche ; mais quand même cette étenduë ne seroit pas moindre, le trapeze sera cependant toujours plus propre à servir de base à un conoïde qui souffrira moins de résistance de la part de l'eau, comme on le verra dans la Section suivante. Ainsi on gagne de toutes manieres à substituer la figure rectiligne à la curviligne. Cette figure sera un rectangle dans les Bâtimens de charge ; elle deviendra un trapeze moins large par en bas dans les Vaisseaux de guerre, de même que dans les Frégates ; & enfin la largeur par en bas se réduisant quelquefois à rien, le trapeze se changera en un simple triangle dans les Corvettes. Fig. 61.

CHAPITRE VIII.

De la grosseur qu'il faut donner aux Vaisseaux par raport à leur longueur pour qu'ils portent mieux la Voile ; avec le moyen d'augmenter extraordinairement la rapidité de leur sillage.

NOUS n'avons examiné jusqu'à présent que la forme de la coupe verticale du Navire faite perpendiculairement à sa longueur : mais sçavons-nous quelle grandeur on doit donner à cette coupe, ou ce qui revient au même, sçavons-nous quelle largeur on doit donner au Vaisseau ? Cette largeur étant déterminée, la grandeur de la coupe le sera aussi ; puisque nous venons d'assujettir sa figure à sa largeur. Ainsi il ne s'agit pas ici de changer seulement la largeur ou seulement la profondeur ; mais de changer ces

Digitized by Google

deux dimensions en même tems, ou le raport qu'elles ont avec la longueur de la carène.

I.

Plus on augmente l'étenduë de la coupe, plus le Navire, dont nous supofons que la longueur reste la même, a de capacité, plus il a de pesanteur, plus cette pesanteur est apliquée au-dessous du métacentre; & plus par conséquent elle a de force relative ou de moment pour soutenir l'effort du vent, & on peut donc donner plus d'étenduë aux voiles. Nous avons montré en effet dans le premier Livre *, que lors qu'on augmente la largeur & la profondeur du Navire proportionellement, sans toucher à sa longueur, on peut sans risque augmenter la largeur & la hauteur des voiles dans le même raport. Si, par exemple, on a doublé la largeur du Vaisseau & son creux, l'étenduë de chaque de ses coupes sera quatre fois plus grande, le Navire aura quatre fois plus de pesanteur; & comme son centre de gravité sera deux fois plus bas, par raport au métacentre, la stabilité ou la force pour soutenir la voile sera comme le cube de la largeur, ou huit fois plus grande. Si on double aussi la largeur & la hauteur des voiles, leur surface sera quatre fois plus étenduë, & le centre d'effort étant en même tems 2 fois plus haut, le moment ou la force relative avec laquelle le vent travaillera à faire verser le Navire, sera également huit fois plus grande, & ne sera donc toujours que maintenir l'équilibre avec l'autre force.

* Art. 3. Chap. 3. Sect. 2.

II.

Mais il n'est pas question de sçavoir si le Navire qu'on rend plus large peut, absolument parlant, porter plus de voiles; on demande, si la quantité qu'il en peut soutenir devient plus grande par raport à la résistance de l'eau qui s'opose à la rapidité du sillage & qui se trouve aussi acruë. Si la prouë avoit une figure parfaitement semblable dans les deux cas, ou si lors que la premiere coupe est plus éten-

Digitized by Google

duë, la prouë avoit en même tems plus de longueur ou plus de faillie, la résistance de l'eau n'augmenteroit que selon l'étenduë de la premiere coupe; & il y auroit dès lors une parfaite compensation; pourvû qu'on n'augmentât pas davantage les dimensions de la mâture. Car l'obstacle que met l'eau au mouvement du sillage, augmentant autant que l'effort du vent qui tend à l'accelerer, la vitesse de la marche resteroit exactement la même. Mais aussi-tôt que la longueur du Navire ne change pas pendant qu'on le rend plus gros, la prouë est non-seulement un conoïde qui a une plus grande base, elle est aussi plus obtuse, & par ce dernier chef elle doit éprouver plus de résistance à proportion. Il suit de là qu'il n'y a point d'avantage à acquerir pour la promptitude du sillage, comme cela pouvoit paroître d'abord, lorsqu'on élargit le Vaisseau; & que c'est tout le contraire. Car pour revenir à la suposition particuliere que nous avons faite; en augmentant la largeur & la profondeur de la carène deux fois, on ne peut donner que quatre fois plus d'étenduë aux voiles: au lieu que la résistance de l'eau contre la prouë augmente en même tems beaucoup plus de quatre fois; elle devient peut-être plus de cinq à six fois plus grande, parce qu'outre que l'eau rencontre une surface quatre fois plus grande, elle en rencontre toutes les parties plus directement. Qu'on retrecisse au contraire le Vaisseau & qu'on diminuë sa profondeur, il singlera ensuite beaucoup plus vite: car on fera toujours diminuer la résistance de l'eau dans un plus grand raport qu'on ne fera obligé de diminuer l'étenduë des voiles.

Pour voir jusqu'où peut aller la différence, proposons-nous un Navire composé de deux cones joints par leur base comme dans la figure 92: l'un de ces cones DAFE formant la prouë, & l'autre DBEF la poupe. Suposons outre cela que l'axe HA de la prouë soit de huit parties, pendant que sa largeur ou le diamétre DF de la coupe DEF soit aussi de huit. Si on retrecit ce Navire quatre fois plus, ou de maniere que sa largeur ne soit plus que de deux par- Fig. 92.

Fig. 91. ties, il faudra enſuite donner quatre fois moins de largeur & quatre fois moins de hauteur aux voiles, & elles auront donc ſeize fois moins de ſurface. Mais outre que l'étenduë de la coupe DEF ſera auſſi ſeize fois plus petite, & que la prouë ſeize fois moins groſſe rencontrera ſeize fois moins d'eau, elle la rencontrera plus obliquement à raiſon de ſa figure plus aiguë, ce qui fera encore diminuer l'impulſion treize fois. Tout compté, la réſiſtance ſera 208 fois moindre, comme on peut le voir par les méthodes que nous avons données, pour meſurer l'effort des fluides contre les ſurfaces courbes. Ainſi ſi on perd extrémement du côté de l'impulſion du vent, cette perte ſera reparée, & le ſera avec excès, du côté de la réſiſtance de l'eau, qui deviendra encore beaucoup plus petite, & qui s'opoſera beaucoup moins au ſillage.

La grande conſéquence de la choſe nous oblige à le repeter encore; des deux diminutions que reçoit la réſiſtance que trouve le Navire à fendre l'eau, il ne faut pas compter la premiere, celle qui vient de ce que la carène moins groſſe rencontre une moindre quantité d'eau: il ne faut pas compter cette premiere; puiſque d'un autre côté la grandeur des voiles doit être diminuée ſenſiblement dans le même raport. Mais il reſte donc toujours l'autre diminution toute entiere qui doit permettre au ſillage de devenir plus rapide, celle qui vient de ce que toutes les parties de la prouë en rencontrant avec plus d'obliquité les molécules d'eau qui ſont ſur leur chemin, en ſont frapées avec moins de force, & de ce que c'eſt encore une moindre partie de cette impulſion qui s'exerce dans le ſens de la route. Nous pouvons par conſéquent donner cette regle pour générale, que *lorſqu'on n'a en vûë que les ſeuls avantages de la marche, on ne ſçauroit porter trop loin la diminution de la groſſeur de la carène, pendant qu'on ne touche point à ſa longueur*. Pour obtenir enfin un Navire abſolument parfait, il faudroit pouvoir le rendre infiniment étroit; ce qui obligeroit de lui donner une infinité de mâts & de voiles, ſelon la regle établie à la fin du premier Chapitre de la Section précédente.

III.

Un pareil Navire ne trouvant qu'une résistance infiniment petite à fendre l'eau, ne seroit sujet à aucune dérive dans les routes obliques, comme l'ont déja remarqué Messieurs Huguens & Bernoulli. Mais en joignant les nouvelles considérations que nous faisons entrer dans cette matiere, il est certain que quelque peu étenduës que soient les voiles dans ce cas, leur surface sera comme infinie par raport à la surface de la prouë; c'est-à-dire, par raport à la surface plane qu'on peut considerer à la place de la prouë, eu égard à la quantité de l'impulsion qu'elle reçoit. Or il suit de là, que le Navire infiniment étroit, seroit précisément dans le même cas que celui dont nous parlions vers la fin du Chapitre V. de la seconde Section. Il n'importe en effet que les voiles soient infiniment grandes, comme nous le suposions, ou que ce soit la prouë qui soit infiniment aiguë; le raport d'une impulsion à l'autre étant également infini, le Navire doit dans la route directe prendre toute la vitesse du vent, & en prendre encore une plus grande dans les routes obliques. Rien de sa part ne peut alors retarder ou plutôt limiter son mouvement; puisque si l'inertie l'empêche de le recevoir tout à coup, elle ne l'empêche pas de le recevoir peu à peu; & que nous ne le considerons ici, que lorsqu'il est déja parvenu à sa plus grande vitesse ou à celle qui est uniforme. Mais cet avantage si extraordinaire d'aller plus vite que le vent, qui est également propre aux Navires dont les voiles sont infiniment grandes & aux Navires qui sont infiniment étroits, ne doit pas se perdre tout à coup, lorsqu'on passe du Métaphysique au Physique ou lorsqu'on commence à donner quelques degrés de grosseur à la carène. Les premiers degrés qu'on ajoute à cette dimension, ne peuvent causer que quelques degrés de diminution dans la qualité dont il s'agit, vû la gradation qui s'observe dans la Nature ou dans l'ordre primordial des choses.

C'est-à-dire, que la moindre largeur qu'on donnera au Navire, ralentira, il est vrai, sa marche; mais qu'elle ne lui fera cependant perdre qu'une partie de l'excès de sa vitesse sur celle du vent, & qu'elle lui permettra d'aller toujours un peu plus vite. Il suffira pour cela que l'étenduë des voiles soit toujours très-grande, par raport au plan auquel se réduit la prouë renduë très-aiguë.

Il ne sera pas difficile, aussi-tôt qu'on employera les différentes méthodes que nous avons données dans ce troisiéme Livre, tant pour assigner à la mâture ses dimensions; que pour déterminer le raport des impulsions du vent & de l'eau, de découvrir quel est le retrecissement précis de la carène, qui fait que le Navire commence à jouir de cette proprieté. Nous laissons au Lecteur à s'assurer qu'une Frégate qui seroit 18 ou 19 fois plus longue que large, se trouveroit déja dans ce cas; & que s'il étoit permis de la retrecir encore deux fois plus, il suffiroit d'orienter ses voiles de maniere qu'elles fissent avec la quille un angle d'environ $19\frac{1}{2}$ degrés, ou un angle dont le sinus fût le tiers du sinus total, pendant qu'elles seroient frapées perpendiculairement, pour que la Frégate singlât avec une vitesse, non pas simplement égale à celle du vent, mais qui la surpassât d'un tiers ou d'un quart. Enfin l'utilité pour la pratique, qu'on ne manquera pas de retirer de toutes les remarques précédentes, c'est qu'il ne sera plus permis de douter que ce ne soit dans le sens que nous le prétendons, qu'il faut travailler toujours à changer les dimensions de la carène; malgré l'usage constant de toutes les Nations qui fréquentent la Mer, & ce qu'on a pensé jusqu'à present sur cette matiere.

IV.

Si on se trouve arrêté par différentes considérations, lorsqu'il s'agit des Bâtimens de transport, ou lorsqu'il s'agit des Vaisseaux de guerre qui demandent à avoir une certaine largeur, non-seulement pour le service de l'artillerie, mais aussi parce que leur centre de gravité est fort haut

Digitized by Google

& trop voisin du métacentre, on satisfera également au précepte, en allongeant ces Navires. Il faudra seulement se souvenir que pour ne pas rendre cet allongement infructueux, la prouë ne doit pas moins y participer que les autres parties. Il est vrai qu'à l'égard des plus grands Vaisseaux on ne pourra pas, faute de matériaux assez forts, les allonger beaucoup; mais aussi-tôt qu'on ne sera gêné par aucun obstacle particulier, il n'y aura toujours qu'à diminuer assez la largeur ou augmenter assez la longueur, pour que l'une ne soit que la sixiéme ou la septiéme partie de l'autre. Les Navires en singleront non-seulement plus vite; ils dériveront encore beaucoup moins dans les routes obliques, & *pinceront* donc mieux le vent. Il en résultera plusieurs autres utilités sur lesquelles nous n'insisterons pas: la mâture étant beaucoup moins haute à proportion, & les voiles beaucoup moins larges, elles ne fatigueront plus le Navire; elles seront incomparablement plus legeres; & n'étant exposées qu'à une impulsion beaucoup plus petite, elles cesseront d'être sujettes aux accidens & il ne faudra toujours que peu de gens pour la manœuvre. Il faut remarquer enfin que ce n'est qu'en observant cette maxime importante, mais en insistant aussi sur toutes les autres qui ont la rapidité du sillage pour objet, qu'on réussira à rendre dans les Frégates la vitesse de la marche égale à la moitié de celle du vent; au lieu qu'elle n'en est actuellement que le tiers. On a vû dans la seconde Section * qu'il ne faut guére s'attendre de pouvoir faire accelerer le sillage, par l'augmentation des voiles; il faudroit les étendre extrémement, & elles ne le sont déja souvent que trop. Mais lorsqu'on substituera au contraire à la prouë trop renflée & trop courte, qu'ont actuellement les Vaisseaux, une figure plus aiguë & plus propre à fendre l'eau, on en tirera déja un avantage considérable. La résistance qu'éprouvera ensuite le Navire se trouvera plus de trois fois moindre **: & si avec cela on diminuë encore la grosseur de la carène, ou qu'on augmente sa longueur, on atteindra par ces deux changemens, principalement par le der-

* Chap. 5. art. 4.

** Voyez le Chap. 11. de la 1e. Sect. art. 1.

Digitized by Google

nier, à un degré de perfection auquel il n'eût jamais été possible d'atteindre, par la seule augmentation de l'impulsion du vent. C'est cependant à l'expérience à montrer si on ne peut pas gagner encore quelque chose par ce second côté, en donnant quatre mâts verticaux aux Navires qui sont fort étroits ou fort longs, ainsi que nous l'avons proposé.

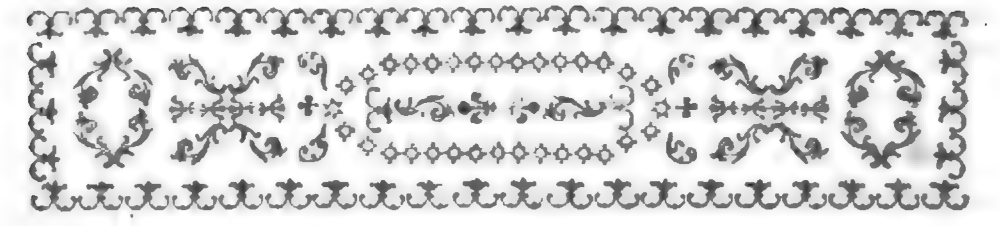
V.

On ne doit pas au reste nous objecter que les Pirogues ou ces especes de Canots faits d'un seul tronc d'arbre, qui sont en usage dans la Zone Torride, portent mal la voile & ont d'autres défauts considérables. Car tous les inconveniens ausquels ils sont sujets, ne viennent qu'indirectement de ce qu'ils sont trop étroits. Ils naissent de ce que la charge ne peut pas être distribuée de la même maniere que dans les Vaisseaux. Le poids d'un seul homme est considérable par raport à celui de ces Pirogues, qui sont 8 ou 9 fois, & quelquefois 14 ou 15 fois plus longues que larges; & le centre de gravité du tout est ordinairement trop haut. Du tems du P. Fournier, la Frégate *la Levrette* qui devoit avoir plus de 108 ou 110 pieds de longueur, n'en avoit que 18 de largeur; & elle marchoit d'une maniere extraordinaire *. C'est comme une expérience anticipée de la bonté de nos assertions. On en trouveroit encore quelques autres s'il le falloit: & il est évident que de pareils exemples sont parfaitement concluants en notre faveur; pendant que cent autres qui paroissent contraires, ne prouvent absolument rien. Il suffit qu'un Navire, entre mille, ait bien réussi, quoi qu'il fût très-étroit; il suffit même qu'il ait bien réussi dans une seule campagne, pour que cet exemple démontre d'une maniere incontestable, & indépendamment de toutes les raisons précédentes qui établissent la même vérité, qu'il faut attribuer à quelqu'autre cause le défaut ordinaire de succès des autres Navires construits à peu près sur le même modéle. Comme on a consenti trop volontiers à se priver de toutes les lumieres que fournit

* Voyez l'Hydrogr. de cet Auteur, liv. 1. chap. 4.

Digitized by Google

fournit la théorie, on n'a operé qu'au hazard, aussi-tôt qu'on a voulu s'éloigner des pratiques communement reçûës : on s'est trouvé dans l'impossibilité de distinguer les cas où il falloit augmenter ou diminuer quelqu'une des dimensions du Vaisseau, & on n'a pas soupçonné non plus qu'un premier changement en entraînoit toujours plusieurs autres ; ce qui a empêché de profiter quelquefois d'un avantage qui n'eût rien couté, ou ce qui a fait tomber dans des fautes dont les suites étoient encore plus fâcheuses.



CINQUIE'ME SECTION.

Du Navire consideré par raport à la rapidité de son sillage, & à la proprieté qu'il doit avoir de dériver peu dans les routes obliques.

LE Lecteur qui s'est rendu propres toutes les recherches précédentes, est non-seulement en état de se décider desormais avec pleine connoissance de cause sur le choix de tous les divers plans de Vaisseaux qu'on proposera, & d'en tirer tout le parti possible, il peut aussi procurer aux Navires la plûpart des proprietés que nous avons déja examinées. Mais il nous reste cependant encore à indiquer, d'une maniere plus particuliere, les moyens de conférer plus de promptitude au sillage par la figure qu'on peut donner à la carène, & de faire ensorte que la dérive soit la moindre qu'il est possible dans les routes obliques. Nous n'avons réussi à cet égard qu'à regler les principales dimensions du Navire : il s'agit maintenant, en suposant ces dimensions données, de découvrir la courbure précise que doivent avoir les flancs & toute la surface extérieure de la carène dans le sens de leur longueur.

Il paroît assez par diverses remarques qui se sont offertes à nous, qu'il est très-douteux que la figure qui fend l'eau avec le plus de facilité, soit absolument la plus avantageuse pour rendre le sillage rapide : car il est possible qu'une prouë qui éprouve un peu plus de résistance, rende le Navire capable de soutenir à proportion une plus gran-

Digitized by Google

de quantité de voiles. Il peut donc arriver que ce ſoit encore ici une de ces circonſtances fâcheuſes où nous nous ſommes déja trouvés plus d'une fois, dans leſquelles ne pouvant pas parvenir à concilier à la Navigation tous les avantages que nous avions en vûë, il a fallu ſacrifier aux uns une partie des autres. Cependant les deux différentes figures de prouës qu'on peut diſtinguer, en nommant l'une *de la moindre réſiſtance*, & l'autre *de la plus grande viteſſe*, doivent avoir beaucoup d'affinité entr'elles ; & dans pluſieurs cas l'une doit acquerir ſenſiblement toutes les proprietés de l'autre. C'eſt d'ailleurs la figure qui éprouve la moindre réſiſtance qu'il eſt évident qu'on doit donner à tous les Navires qui ne ſont pas de charge & qui ſont principalement deſtinés à aller à rames, & c'eſt encore cette figure, comme nous l'avons prouvé *, qui fait à l'égard de chaque genre, que la déviation dans les routes obliques eſt la moindre qu'il eſt poſſible. Nous devons naturellement commencer nos Recherches par ſa détermination ; puiſqu'elle eſt la plus ſimple. Nous ne paroîtrons occupés que de l'unique ſoin, de diminuer l'impulſion ou la réſiſtance dans la route directe : mais on ſe ſouvient qu'il ſuffit de donner à une figure la proprieté dont il s'agit dans cette ſeule route, pour que la même proprieté ſubſiſte dans toutes les autres. Nous l'avons vû dans la premiere Section de ce troiſiéme Livre **.

* A la fin du chap. 8. de la 1re. Section de ce 3e. liv.

** Voy. la fin du ch. 7.

Digitized by Google

CHAPITRE PREMIER.

Examen des figures les plus simples qui reçoivent le moins d'impulsion qu'il est possible de la part des milieux dans lesquels elles se meuvent.

I.

Fig. 101. IMAGINONS-nous une ligne droite B*b* (Fig. 101.) exposée au choc d'un fluide qui la rencontre perpendiculairement, ou qui suit une infinité de lignes paralleles à CA, & à DB; & proposons-nous, en la garantissant du choc du fluide par deux lignes obliques égales BE, *be*, & par une troisiéme E*e* parallele à B*b*, & placée au-devant à une distance donnée CA, de faire ensorte que l'impulsion directe ou dans la détermination parallele à l'axe CA, sur l'assemblage des trois droites BE, E*e*, *be*, soit la moindre qu'il soit possible. C'est-à-dire, qu'il s'agit d'augmenter ou de diminuer la longueur de la portion E*e*, & de rendre BE & *be* plus ou moins obliques; jusqu'à ce que l'impulsion sur ces trois lignes jointes ensemble, soit un *minimum*.

La figure étant égale des deux côtés de l'axe CA, il suffit d'examiner une de ses moitiés. La ligne DB parallele à CA, peut représenter la direction du fluide, & si du point D, qui est sur le prolongement de E*e*, on abaisse la perpendiculaire DF sur BE, cette perpendiculaire sera le sinus de l'angle d'incidence DBE du fluide sur BE. Il n'y a ensuite qu'à abaisser du point F la perpendiculaire FG sur DB, & la partie interceptée DG représentera le quarré du sinus d'incidence, pendant que DB, pris pour l'unité, représentera aussi-bien le quarré du sinus total que le sinus total même: car nous avons la proportion continuë ∺ DB | DF | DG, qui nous fournit cette autre $\overline{DB}^2 | \overline{DF}^2 || DB | DG$. Ceci est vrai, quelque situation qu'on donne à BE; & il

Digitized by Google

eſt évident que l'angle DFB étant toujours droit, tousles points F ſont ſur une demi circonférence de cercle DFB qui a DB pour diamétre. Maintenant pour avoir l'impulſion relative directe ſur BE, il ne faut pas multiplier le quarré DG du ſinus d'incidence par BE, ce qui nous donneroit l'impulſion abſoluë ſelon la perpendiculaire à ce côté : il faut multiplier ſeulement DG par DE. Mais ſi on tire FH parallelement à DB, nous pouvons prendre à la place du produit de DG par DE, celui de DB par HE qui lui eſt égal, puiſque DB|DE || HF = DG|HE. Ainſi nous pouvons exprimer l'impulſion relative directe ſur BE par le rectangle de DB & de HE; & il ne nous reſte donc qu'à joindre à cette impulſion celle que reçoit CE, pour avoir l'impulſion entiere dans le ſens direct que ſouffre la figure BEC moitié de la prouë. Fig. 101. & 102.

La partie EC étant frapée perpendiculairement de même que l'étoit AB, il faut pour avoir l'impulſion à laquelle elle eſt expoſée, la multiplier par le quarré du ſinus total qui eſt exprimé par DB. Il ſuit de là que l'impulſion ſur l'aſſemblage des deux droites BE & BC, eſt égale à la ſomme du rectangle de DB par HE, & de DB par EC, ou qu'elle eſt égale au rectangle de DB par toute HC; & elle eſt donc proportionelle à HC ou à la diſtance FI du point F à la droite CA. Ainſi pour donner à l'aſſemblage des deux lignes droites BE & EC; la diſpoſition qui rend l'impulſion directe un *minimum*; il ne s'agit que de rendre FI la plus petite qu'il eſt poſſible. Or il faut pour cela diminuer CE juſqu'à la rendre nulle, ou juſqu'à ce que la ligne BE vienne ſe rendre en C, comme dans la figure 101; ou au moins juſqu'à ce que BE parvenuë à la ſituation BM, comme dans la figure 102, faſſe un angle demi-droit avec BA & avec la direction du fluide, & que l'impulſion qui étoit exprimée par FI, le ſoit par KL. Il ne faut pas que BM faſſe un angle moindre que le demi-droit avec BA; car KL qui exprime l'impulſion deviendroit enſuite plus grande.

Il réſulte de tout cela que les lignes droites BC & *b*C

Fig. 101. & 102. (Fig. 101.) reçoivent la moindre impulsion directe, aussitôt qu'elles ne font pas un angle de plus de 45 degrés avec la direction du fluide. Mais que dans le cas où il faudroit qu'elles fissent un angle plus grand, il ne faut toujours les incliner précisement que de 45 degrés, comme le font BM & *bm* dans la figure 102; & qu'il faut joindre ensuite les points M & *m* par la droite M*m*. Il est certain encore qu'on ne peut pas substituer à l'assemblage de ces lignes droites une ligne courbe BQC (Fig. 103.) qui reçoive moins d'impulsion dans le sens de son axe. Car si on partage cette courbe en une infinité de petites parties PQ, QR, &c. chaque de ces petites lignes, comme PQ, sera droite, & ne recevra pas la moindre impulsion directe: ce sera l'assemblage des deux petites lignes PT & TQ qu'on y apliquera, dont l'une sera un angle demi-droit avec la direction du fluide, & l'autre un angle droit. C'est ce qui paroît évidemment; puisque tout ce qui est vrai pour des lignes finies, le doit être également pour des lignes infiniment petites. Ainsi, au lieu de la courbe BPRC, ce sera la figure BOPTQVR, &c. qui sera sujette à la moindre impulsion. Mais il est facile de remarquer que cette figure à échellons formée d'une infinité de côtés, est équivalente à l'assemblage des deux seules lignes droites BM & MC. Car toutes les petites lignes BO, PT, QV, &c. sont égales jointes ensemble à BM & sont exposées au choc du fluide de la même maniere; pendant que toutes les petites lignes OP, TQ, VR, &c. sont ensemble équivalentes à MC.

Il ne sera pas beaucoup plus difficile de s'assurer que l'impulsion deviendroit aussi plus grande, si on changeoit les lignes droites des côtés en lignes courbes, lorsque ces deux droites se rencontrent & qu'elles font un angle moindre de 45 degrés avec l'axe. On s'en convaincra, si on le veut, par des reflexions semblables à celles que nous ferons dans l'article II. du Chapitre VII.

Digitized by Google

II.

Fig 101. & 102.

On peut déja tirer des recherches précédentes quelque utilité par raport à la construction de divers Bâtimens, comme des Gabares, des Pontons, &c. qui ne sont destinés qu'à naviger sur les Rivieres ou dans les endroits fermés. L'avant des Pontons est ordinairement terminé par deux plans verticaux qui font un angle BC*b*, & dont la rencontre forme l'extrémité C de la prouë; mais nous voyons que ces deux plans (& ce doit être la même chose de ceux qui forment les éperons dont on couvre les piles des ponts,) ne sçauroient faire un angle trop aigu, & que si on étoit forcé de le faire obtus ou de retrancher de la trop grande saillie de l'angle aigu, il vaudroit mieux substituer, comme dans la figure 102, deux plans qui fissent entr'eux un angle droit, ou un angle demi-droit avec la direction du fluide, & retrancher ensuite la pointe de l'angle par un troisiéme plan M*m* placé perpendiculairement. Les Chinois, ausquels la singularité de leur Architecture navale nous fait penser si souvent, pourroient observer la même chose dans la construction de leurs Vaisseaux, au lieu de former leur prouë par un seul plan vertical: ils rendroient la promptitude de leur navigation beaucoup plus grande. On construira enfin des Frégates ou des Corvettes d'une figure très-simple, en terminant leur carène par quatre plans verticaux, dont deux formeront la prouë & les deux autres la poupe, conformement à ce que nous étalerons dans la suite*.

* Voy. le chap. 7. art. 6.

III.

Sachant cette proprieté qu'ont les lignes droites d'éprouver de la part des milieux la moindre résistance, on peut encore s'en servir avec avantage, en les faisant entrer dans la composition même des surfaces courbes. Imaginons-nous, par exemple, une surface ABRS (Fig. 104.) formée de lignes droites dans le sens horisontal; mais cour- Fig. 104.

Fig. 104. be dans le ſens vertical, & compriſe entre deux plans verticaux BCDR & ACDS qui ſe rencontrent dans la verticale DC. C'eſt déja beaucoup que de ſçavoir que chaque des zones horiſontales qui ſervent d'élemens à cette ſurface reçoit la moindre impulſion ; & pour rendre donc l'impulſion ſur toute la ſurface un *minimum*, nous n'avons qu'à déterminer la ſeule courbe BMR. Si nous nommons x les parties variables DG, DK de la verticale DC qui ſert d'axe, & dx les parties infiniment petites KP ou PG qui ſont égales à HN ou ML, & y les ordonnées comme GE, KH, & dy leur différentielle NM ; nous aurons $\sqrt{dx^2+dy^2}$ pour l'élement HM de la courbe BER : & ſi le fluide ſe meut parallelement aux ordonnées HK ; nous aurons HMN pour l'angle d'incidence dont nous trouverons le ſinus $\frac{ndx}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ par l'analogie ſuivante, après avoir pris n pour déſigner le ſinus total : $HM=\sqrt{dx^2+dy^2} \,|\, HN=dx \,||\, n \,|\, \frac{ndx}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$. Le quarré de ce ſinus ſera $\frac{n^2dx^2}{dx^2+dy^2}$, que nous multiplierons par l'étenduë de la zone OH, ſi nous voulions avoir l'impulſion abſoluë ; au lieu que ne voulant avoir que l'impulſion relative directe, nous ne devons, comme on le ſçait, multiplier le quarré du ſinus d'incidence que par l'étenduë de la zone OH projettée ſur un plan vertical perpendiculaire à la direction du fluide. La longueur IH de la zone étant proportionelle à l'ordonnée correſpondante HK, peut s'exprimer par y, & ſi on la multiplie par $HN=dx$, on aura ydx pour le rectangle auquel ſe reduit la zone, lorſqu'on la projette. Nous avons donc $ydx \times \frac{n^2dx^2}{dx^2+dy^2}$ pour l'impulſion relative directe ; & cette expreſſion doit convenir également à toutes les zones.

Nous pouvons maintenant conſiderer que plus on diminuë $HN=dx$, en laiſſant $MN=dy$ conſtante, plus l'impulſion

Digitized by Google

pulsion $ydx \times \frac{n^2dx^2}{dx^2+dy^2}$ ou $\frac{n^2ydx^3}{dx^2+dy^2}$ diminuë ; car la zone Fig. 104.
IM prend la situation I*m*, & est moins exposée au choc du fluide & se trouve outre cela plus étroite. Si on prend la différentielle de $\frac{n^2ydx^3}{dx^2+dy^2}$, on aprendra que l'impulsion diminuë effectivement de la petite quantité $\frac{n^2ydx^4+3n^2ydy^2dx^2}{\overline{dx^2+dy^2}^2} \times ddx$. Cependant ce n'est pas une raison pour diminuer continuellement HN ou dx, car l'impulsion que souffre la zone voisine FM, devient en même tems plus grande, parce que cette zone en prenant la situation F*m*, se trouve ensuite plus large & plus exposée au choc du fluide. Il faut donc faire ensorte que la petite diminution que souffre une impulsion, ou sa différentielle $\frac{n^2ydx^4+3n^2ydy^2dx^2}{\overline{dx^2+dy^2}^2} \times ddx$ soit précisément égale à la différentielle ou à la petite augmentation que recevra l'impulsion sur l'autre zone : car les deux différentielles se détruisant deviendront jointes ensemble égales à zéro ; ce qui est nécessaire pour que les deux zones reçoivent conjointement la moindre impulsion possible. Mais ces mêmes différentielles seront encore égales si on les divise par n^2, & par ddx qui désigne la même quantité M*m* dans les deux expressions : & comme ce sera précisement la même chose dans tous les autres endroits de la courbe BR, il est évident qu'on peut égaler $\frac{ydx^4+3ydy^2dx^2}{\overline{dx^2+dy^2}^2}$ à une quantité constante a ; ce qui nous donne $ydx^4+3ydy^2dx^2=adx^4+2adx^2dy^2+adx^4$ pour l'équation différentielle qui exprime la nature de la courbe.

Pour résoudre cette équation, je prens une nouvelle inconnuë z, en suposant $\frac{zdx}{a}=dy$. J'introduis cette valeur de dy dans l'équation ; ce qui la change en $ydx^4+\frac{3yz^2dx^3}{a^2}=adx^4+\frac{2z^2dx^4}{a}+\frac{z^4dx^4}{a^3}$ dont je tire $y=$

Fig. 104. $\frac{a^4+2a^2z^2+z^4}{a^3+3az^2}$. Après cela cette valeur de y me donne $dy = \frac{6az^5dz+4a^3z^3dz-2a^5zdz}{\overline{a^3+3az^2}^2}$ & je change $\frac{zdx}{a} = dy$ en $\frac{zdx}{a} = \frac{6az^5dz+4a^3z^3dz-2a^5zdz}{\overline{a^3+3az^2}^2}$ & en $dx =$ $\frac{6a^2z^4dz+4a^4z^2dz-2a^6dz}{\overline{a^3+3az^2}^2} = \frac{2}{3}dz - \frac{\frac{8}{3}a^4dz}{\overline{a^2+3z^2}^2} = \frac{2}{3}dz - \frac{\frac{4}{3}a^2dz}{a^2+3z^2}$ $- d\frac{\frac{4}{3}a^2z}{a^2+3z^2}$; & en intégrant il vient $x = \frac{2}{3}z - \frac{\frac{4}{3}a^2z}{a^2+3z^2}$ $- \frac{4}{3}\int\frac{\frac{1}{3}a^2dz}{\frac{1}{3}a^2+z^2}$. Ainsi le Problême est entierement resolu: nous n'avons pas la relation immédiate de y à x, quoi qu'on puisse la trouver assez aisément ; mais nous avons celle de ces deux quantités à la troisiéme z, à laquelle nous n'avons qu'à attribuer autant de différentes valeurs que nous voudrons, & par le moyen des deux équations $y = \frac{a^4+2a^2z^2+z^4}{a^3+3az^2}$ & $x = \frac{2}{3}z - \frac{\frac{4}{3}a^2z}{a^2+3z^2} - \frac{4}{3}\int\frac{\frac{1}{3}a^2dz}{\frac{1}{3}a^2+z^2}$, nous aurons autant de valeurs correspondantes de y & de x; ce qui nous mettra en état de tracer la courbe BER.

Je n'ai que faire d'avertir que le dernier terme $\frac{4}{3}\int\frac{\frac{1}{3}a^2dz}{\frac{1}{3}a^2+z^2}$ de la valeur de x dépend de la rectification du cercle: mais j'ay voulu épargner aux Lecteurs la peine du calcul & les mettre en état par la Table suivante de former aisément la courbe dont il s'agit: mon travail aura peut-être son utilité. Il est clair qu'en joignant deux surfaces ABRS, on peut former une prouë qui sera à peu près telle que le représente la figure, & qui aura la proprieté d'éprouver de la part de l'eau la moindre résistance possible dans la route directe & dans toutes les autres routes dont l'obliquité ne passera pas 45 degrés. Il n'importe que l'eau choque obliquement les zones horisontales dont les deux côtés de cette prouë sont formés: cette obliquité rend plus petites les impulsions sur toutes les zones; mais elle n'en change point le raport.* Au reste cette prouë a cela de particulier, qu'elle souffre

* Voy. le commenc. de l'art. 2. du chap. 6. de la 1re. Section.

Digitized by Google

toujours la moindre impulsion possible, sans qu'il importe jusqu'à quel terme elle soit plongée dans le fluide. Ce n'est pas des courbes des arrêtes AIS & BHR dont nous donnons les abscisses & les ordonnées ; c'est de celle qui résulte de la Section de la surface ABRS coupée verticalement & perpendiculairement à sa longueur ; & le point D est l'origine des abscisses étenduës le long de DC. Nous pouvons prendre également DC pour l'axe de la courbe SA ; mais ses ordonnées seront plus longues que celles que marque la Table, dans le même raport que AC est plus grande que perpendiculaire CL. Fig. 104.

TABLE

Des dimensions de la prouë angulaire & rectiligne dans le sens horisontal, laquelle éprouve la moindre résistance de la part de l'eau.

Hauteurs ou Profondeurs.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Hauteurs ou Profondeurs.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Hauteurs ou Profondeurs.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Hauteurs ou Profondeurs.	Demies largeurs ou Ordonnées.
0	899	374	1300	778	2000	1164	2900
14	900	408	1350	826	2100	1200	3000
79	950	440	1400	873	2200	1236	3100
132	1000	471	1450	918	2300	1271	3200
180	1050	502	1500	962	2400	1306	3300
223	1100	561	1600	1004	2500	1341	3400
265	1150	619	1700	1046	2600	1376	3500
303	1200	674	1800	1086	2700	1410	3600
340	1250	728	1900	1125	2800	1444	3700

Le Problême recevra une plus grande généralité, si on l'examine dans le cas où les coupes horisontales de la prouë, au lieu d'être terminées par deux lignes droites, le sont par des lignes courbes parfaitement paralleles à la premiere BA*b*. Désignant par x les parties variables de l'axe DC & par y les ordonnées de la courbe de saillie AS ; ces ordonnées serviront d'axe aux courbes horisontales qui séparent les zones les unes des autres : & si après

avoir cherché par la méthode expliquée dans le Chapitre IV. de la premiere Section, l'impulsion que souffrent ces lignes, on la nomme Y, on aura $x =$ $\int \frac{ady}{\sqrt{\frac{3}{2}aY - a^2 \pm \sqrt{\frac{9}{4}a^2Y^2 - 2a^3Y}}}$; ce que le Lecteur vérifiera aisément.

CHAPITRE II.

De la Prouë en conoïde, qui fend l'eau avec le plus de facilité qu'il est possible.

I.

LORSQU'ON rendra exactement circulaires les coupes de la carène dans les Frégates & dans les Corvettes, la prouë deviendra un conoïde parfait ou plutôt un demi conoïde; & on sçait depuis long-tems la forme qu'il faut donner à ce solide pour qu'il fende l'eau avec la plus grande facilité. Si a désigne une grandeur constante & z une variable dont Lz indique les logarithmes pris dans une logarithmique dont a est la soutangente, on aura $\frac{3z^4}{4a^3} + \frac{z^2}{a} - \frac{5}{12}a - Lz$ pour les abscisses ou parties de l'axe du conoïde & $\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}$ pour ses ordonnées. Nous devons à M. Bernoulli la premiere solution complette de ce Problême, de même que d'un si grand nombre d'autres; quoique plusieurs autres Mathématiciens y ayent aussi travaillé avec succès, comme M. le Marquis de l'Hôpital, Mrs. Fatio & Herman. Cette découverte se trouvant d'autant plus utile, qu'elle a réellement plus d'étendue qu'on avoit cru lui en donner, puisqu'elle n'est pas limitée au seul cas de la route directe, j'ai tâché de l'accomoder aux besoins de la pratique, en calculant une Table des dimensions de la figure qu'elle prescrit. Cette Table étant

inserrée dans mon Traité de la Mâture, je la transporte ici pour la commodité des Lecteurs, après l'avoir considerablement augmentée.

TABLE

Des dimensions de la Proue conoïdale qui fend l'eau avec le plus de facilité.

Abscisses ou parties de l'axe.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Impulsions.	Abscisses ou parties de l'axe.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Impulsions.	Abscisses ou parties de l'axe.	Demies largeurs ou Ordonnées.	Impulsions.
0	308	148993	4518	2545	1949062	41862	12040	14543335
6	317	155239	5194	2791	2189549	45383	12765	15615915
20	336	167905	5943	3053	2453469	49118	13520	16837987
44	364	186165	6769	3333	2743083	53080	14304	18132351
78	400	208184	7678	3631	3059421	57280	15119	19505003
125	444	236721	8675	3948	3404528	61727	15966	20949435
185	496	268916	9767	4284	3780198	66423	16845	22478039
260	557	307900	10959	6440	4188257	71386	17755	24089705
354	626	353607	12258	5016	4630586	76624	18699	25790519
468	704	405964	13668	5413	5109155	82139	19676	27580596
604	792	466875	15198	5832	5626246	87935	20688	29463846
766	890	536439	16852	6273	6182762	94086	21736	31444132
956	999	615734	18639	6737	6792289	100524	22817	33524478
1178	1118	705619	20565	7225	7426420	107285	23936	35708216
1434	1250	807369	22636	7736	8117090	114387	25090	38001324
1719	1394	922068	24861	8272	8867188	121835	26279	40399311
2065	1550	1050881	27246	8833	9648764	129642	27507	42913773
2448	1720	1194679	29800	9421	10493903	137620	28777	45545900
2880	1904	1355015	32531	10034	11395391	146380	30085	48298823
3366	2101	1533275	35447	10675	12355760	155334	31431	51462561
3911	2316	1730807	38555	11343	13377500	164694	32818	54183109

L'usage de cette Table est trop facile, pour qu'il soit nécessaire de l'expliquer. On voit assez qu'il faut prendre sur une échelle de parties égales la valeur de chaque abscisse; & que la portant depuis A jusqu'en, X ou jusqu'en C sur une ligne droite AC (Fig. 105) en commençant toujours au point A, il n'y a qu'à élever à son extremité Fig. 105.

Fig. 105. X ou C une perpendiculaire XV ou CD égale à l'ordonnée corespondante marquée dans la Table, pour avoir un point V ou D de la courbe BVD. On pourra trouver de la même maniere autant de différens points qu'on voudra : & la courbe étant tracée, il n'y aura qu'à la faire tourner autour de son axe AC, pour former le conoïde qui éprouve de la part des fluides la moindre impulsion possible. Ce conoïde ne sera pas fermé par sa pointe, parce que la premiere ordonnée AB, au lieu d'être nulle, est ici de 308 parties : mais on peut couvrir cette ouverture par un petit cone formé par les tangentes à la courbe. La prouë étant parfaitement conoïdale, tous les gabaris de la partie antérieure de la carène, seront des demis cercles ; ce qui ne donnera que plus de facilité à les former. Les Constructeurs ont toujours eu quelque répugnance à se servir de cette figure dans leurs gabaris. Voyant que pendant le roulis, les Navires trop ronds, font leurs balancemens, sans choquer l'eau d'un côté & d'autre, ils ont cru que ces balancemens en devoient être beaucoup plus vifs : mais quelque figure qu'ait la carène, il est certain qu'elle ne déplace jamais beaucoup d'eau par ses oscillations, & qu'outre cela elle ne la frape qu'avec une obliquité qui doit rendre le choc comme insensible. De plus, nous avons montré que la promptitude du roulis vient de causes très-differentes.

Nous avons ajouté dans la Table les impulsions que souffre le demi conoïde, selon qu'on le rend plus ou moins long. Ces impulsions ont été fournies par la formule $\frac{2q}{r} \times \frac{3z^4}{4a^2} + \frac{5}{2}z^2 + \frac{251}{108}a^2 + \frac{a^4}{2z^2} + a\mathrm{L}z$, dont on peut

* Pag. 53 & suiv. voir l'origne dans le Traité de la Mâture *. Les lettres q & r marquent le raport du quart de la circonference d'un cercle à son rayon : mais nous avons pris l'unité pour sinus total ; & nous avons joint outre cela l'impulsion que doit recevoir le petit plan circulaire de l'extremité, dont le rayon est égal à $\frac{16}{3\sqrt{3}}a$. Le sinus total étant désigné ici par l'unité,

Digitized by Google

l'impulsion que recevroit la base du conoïde, si elle étoit frappée perpendiculairement par le fluide, seroit represen-tée par son étendue même. Ainsi il n'y a qu'à chercher l'étendue de cette base par la connoissance qu'on a de l'ordonnée qui lui sert de rayon, & il suffira de lui comparer l'impulsion que souffre le conoïde, pour sçavoir combien la saillie ou la convexité de la figure fait diminuer le choc. La partie, par exemple, qui a 1434 pour axe & 1250 pour ordonnée, reçoit une impulsion qui est exprimée par 807369, pendant que l'étendue de la base ou du demi-cercle qui a 1250 pour rayon est à peu près de 2455357; ce qui montre que la convexité de cette partie du conoïde, rend l'impulsion à peu près trois fois moindre. On peut remarquer en passant que c'est donc cette même portion qui (conformement à un Theorême établi dans la premiere Section de ce troisiéme Livre*,) a la proprieté singuliere de recevoir toujours le même choc dans le sens de son axe, quelque soit l'obliquité de la direction du fluide qui la frappe. Fig. 105.

* Art. VI. du Chapit. VII.

On peut juger aussi avec facilité de l'impulsion que souffrent les parties qui ne commencent pas à l'extrémité de l'axe. L'impulsion que reçoit, par exemple, la partie qui est comprise entre les ordonnées 400 & 3053 est la difference 2245285 des impulsions 208184, & 2453469; & cette impulsion partiale répond à la difference des bases qui ont 400 & 3053 pour rayons, difference qui est de 14395557. D'où il suit que la portion du conoïde dont il s'agit, fait par la disposition plus oblique de sa surface, diminuer l'impulsion relative directe dans le raport de 14395557 à 2245285, ou qu'elle la fait diminuer presque $6\frac{2}{5}$ fois.

Nous ne descendons dans ce détail qu'afin de lever les difficultés qui pourroient se presenter, lorsqu'on voudra découvrir les impulsions que souffrent divers conoïdes irreguliers dont nous parlerons dans la suite. Quelquefois on ne formera leur saillie que par une portion VD (Fig. 105) de la courbe génératrice du conoïde régulier *de*

Digitized by Google

Fig. 105. *moindre résistance*: or il n'y aura qu'à chercher de la maniere que nous venons de l'expliquer, dans quel raport la portion de la ligne qui sera actuellement employée, fait diminuer l'impulsion dans le conoïde regulier, & elle produira le même effet dans les autres. Nous nous proposerons vers la fin du second article du Chapitre IV. de garantir du choc une base formée de deux quarts de cercle separés par un rectangle mis entre deux: cette base sera d'environ 530 pieds quarrés; & il ne s'en faudra que très-peu que nous ne formions le conoïde irregulier dont nous la couvrirons, par cette portion de la ligne courbe qui fait diminuer l'impulsion $6\frac{4}{7}$ fois. Ainsi les 530 pieds de la base se reduiront à environ $82\frac{1}{2}$: c'est-à-dire que l'impression sera la même que si l'eau frappoit perpendiculairement une surface plane de $82\frac{1}{2}$ pieds quarrés d'étenduë.

II.

La ligne courbe qui forme le conoïde de M. Bernoulli a deux branches jointes par un point de rebroussement; l'une présente sa convexité en dehors & l'autre sa concavité. On s'est contenté d'inserer dans la Table précedente les dimensions de la premiere; parce que l'autre formeroit un conoïde trop obtus. Il est plusieurs autres conoïdes qui jouissent sensiblement de la proprieté d'éprouver la moindre résistance, s'ils n'en jouissent pas absolument. On trouve dans le Livre des *Principes Mathématiques de la Philosophie naturelle* la construction du Problême suivant, mais sans démonstration; un demi cercle BED (Fig. 106) étant proposé & la saillie ou hauteur AC que doit avoir le tronc de cone GHIEBD qui doit couvrir cette base étant donnée, trouver entre tous les troncs possibles qui ont la même hauteur & la même base, celui qui doit recevoir tant par sa surface courbe que par le plan GIH le moins de choc qu'il se peut, de la part d'un fluide qui viendroit le rencontrer parallement à l'axe AC, ou perpendiculairement à la base BED. M. Newton a découvert que pour détermi-

ner

ner le sommet F où les côtés de ce cone iroient se rencontrer, si le cone n'étoit pas tronqué, il n'y a qu'à diviser AC par la moitié par le point O, & faire OF égale à OB ou OD. C'est ce que plusieurs Géometres ont démontré depuis; & il faut remarquer que ce cone tronqué formeroit déja une prouë qui fendroit l'eau avec beaucoup de facilité. Car nous avons vû dans le Chapitre V. de la premiere Section de ce troisiéme Livre, qu'une prouë conique peut faire diminuer considerablement la résistance que fait l'eau au mouvement du sillage; & le cone tronqué dont il s'agit ici est encore préférable. Mais cela suposé, il est évident qu'on peut chercher de la même maniere le tronc de cone *de moindre résistance* dont il faudroit couvrir le demi cercle *b e d*, qui est à une certaine distance du premier BED. Il faudroit diviser également A*c* par la moitié par le point *o*; & faisant *of* égale à *ob* ou à *od*, on auroit le point de rencontre *f* des côtés, qui doivent former le nouveau tronc *ghiebd*. Rien n'empêcheroit de repeter successivement la même chose; & le solide éprouveroit toujours une résistance qui deviendroit moindre. Mais pour n'avoir point à y revenir, il n'y a qu'à repeter tout d'un coup cette opération une infinité de fois; ce qui sera très-facile, aussi-tôt qu'on employera la méthode inverse des tangentes. Il suffit pour cela de considerer que les côtés du cone, dont la construction de M. Newton nous indique la position, ne sont autre chose que les tangentes continuelles du conoïde que nous voulons découvrir. Fig. 106.

Si on nomme x les parties variables AC ou A*c* de l'axe, & y les ordonnées correspondantes CD ou *cd*, on aura $\sqrt{\frac{1}{4}x^2+y^2}$ pour les distances OD ou *od*; & par conséquent les soutangentes CF ou *cf* de la courbe génératrice du conoïde, seront $\frac{1}{2}x+\sqrt{\frac{1}{4}x^2+y^2}$. Mais comme ces mêmes soutangentes sont exprimées par $\frac{ydx}{dy}$, nous aurons $\frac{1}{2}x+\sqrt{\frac{1}{4}x^2+y^2}=\frac{ydx}{dy}$ qui devient $dy\sqrt{\frac{1}{4}x^2+y^2}=ydx-\frac{1}{2}xdy$

& $ydy^2 = ydx^2 - xdxdy$; équation différentielle qui caracterise la courbe qu'il s'agit de découvrir. Prenant ensuite une nouvelle variable z & une constante a, en les suposant telles que $dx = \frac{zdy}{a}$, si on introduit cette valeur de dx dans l'équation, & qu'on fasse les autres changemens nécessaires, on trouvera $x = \frac{yz}{a} - \frac{ay}{za}$, & enfin $\frac{a^2dy}{y} = zdz + \frac{a^2dz}{z}$, dont on tirera en intégrant, $Ly = \frac{z^2}{2a} - \frac{1}{2}a + Lz$. Ainsi le Problême est entierement résolu ; on ne sçait pas la relation immédiate qu'ont entr'elles les abscisses & les ordonnées de la courbe ; mais on sçait la relation qu'elles ont par raport à une troisiéme quantité, & cela suffit. Pour chaque grandeur qu'on attribuera à z, on trouvera aisément par l'équation $Ly = \frac{z^2}{2a} - \frac{1}{2}a + Lz$, la grandeur que doit avoir y ; & il ne restera plus qu'à introduire ces deux valeurs de z & de y dans la formule $x = \frac{yz}{a} - \frac{ay}{z}$, pour avoir l'abscisse x correspondante de l'ordonnée y déja trouvée.

C'est de cette sorte que j'ai calculé la Table qu'on voit ci à côté, qui indique un assez grand nombre de points de la courbe pour qu'on puisse la tracer exactement. Cette Table comparée avec l'autre que nous avons raportée ci-dessus ; & encore mieux les équations raprochées l'une de l'autre, ne laissent aucun lieu de douter que les deux conoïdes ne soient différens, & il est certain aussi qu'ils ont, par raport à la moindre résistance, des proprietés très-distinctes.

TABLE

Des dimensions d'un nouveau conoïde qui doit éprouver peu de résistance en traversant les milieux.

Abscisses ou parties de l'axe de la proue.	Ordonnées ou demies largeurs de la proue
0	100
23	122
55	150
97	183
155	226
233	280
340	349
675	552
962	701
1344	896
1876	1155
2619	1501
3665	1969
5143	2593
8247	3451
10261	4632
14605	6269
20909	8559
30122	11788
43619	16379
64773	22961
93780	32478
138926	46355
207366	66766
311931	97045

Celui que nous venons de trouver actuellement, qui n'eſt autre choſe que le cone tronqué de moindre réſiſtance, perfectionné une infinité de fois, ne fait que s'aprocher continuellement, & de plus en plus, de la figure la plus avantageuſe: de ſorte que la perfection eſt, pour ainſi dire, une aſymptote à ſon égard. Mais la proprieté dont il jouit s'étend au moins à toute l'impulſion à laquelle il eſt expoſé, y compris celle que reçoit le petit demi-cercle, ou le petit plan qui ſe trouve toujours au ſommet. Dans l'ancien conoïde au contraire, c'eſt ſeulement ou toute la ſurface courbe ou toutes les zones de cette ſurface compriſes entre deux cercles paralleles, qui ont la proprieté de recevoir la moindre impulſion; & le petit cercle qui reſte à l'extrémité en eſt toujours exclus.

III.

Les deux conoïdes précedens ſont ſujets à un inconvenient conſiderable, lorſque le Navire s'incline dans les routes obliques: l'endroit qu'on regardoit comme le plus large de la carène entre dans l'eau & s'y plonge de toute la quantité de l'inclinaiſon. Si pour éviter d'un autre côté cet accident qui peut avoir des ſuites fâcheuſes, on éleve au-deſſus de la mer l'endroit le plus large du Navire, le demi conoïde qui ſert de prouë perdra la propriété qu'il avoit d'éprouver la moindre réſiſtance; parce que ce ſeront des parties toutes differentes des zones de ſa ſurface, qui ſeront expoſées au choc. C'eſt ce qui nous a invité à conſtruire encore la Table ſuivante qui marque les dimenſions qu'il faut donner au conoïde, lorſqu'il ne plonge qu'en partie, & nous l'avons inſtituée pour deux cas differens; en ſupoſant dans l'un que la partie de la prouë ou de la carène qui reſtoit au-deſſus de l'eau, avoit deux fois plus d'épaiſſeur ou de hauteur que dans l'autre. Nous avons ſuivi pour conſtruire cette Table les veſtiges de la ſolution générale qu'on verra dans le Chapitre ſuivant. Ces ſortes de calculs ſont ſi rebutans qu'il eſt naturel de s'y

refuser le plus qu'on peut. Le conoïde de moindre résistance qui n'est submergé qu'en partie, est très-different de l'autre vers son sommet; mais ils deviennent presque conformes, à une certaine distance, & exactement les mêmes, lorsqu'on les prolonge infiniment; car ils se confondent l'un & l'autre avec celui qui est formé par la derniere parabole du quatriéme degré, c'est-à-dire par celle dont les cubes des abscisses sont comme les ordonnées élevées à la quatriéme puissance. Lorsqu'on aura donc, dans le cas présent, tracé avec soin, sur les dimensions que nous donnons, le commencement de la courbure qui est plus marquée, on pourra ensuite sans erreur sensible emprunter la figure de l'ancien conoïde.

TABLE

Des dimensions de deux prouës conoïdales qui n'éprouvent la moindre résistance de la part de l'eau, que lorsqu'elles ne sont pas entierement sumergées.

Lorsque l'axe de la prouë est élevé de 1000 parties au-dessus de la surface de l'eau.				Lorsque l'axe de la prouë est élevé de 2000 parties au-dessus de la surface de la Mer.			
Abscisses ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abscisses ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abscisses ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abscisses ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demies largeurs.
0	1045	1372	1800	0	2023	3223	3400
3	1050	1854	2000	5	2030	3825	3600
21	1070	2368	2200	14	2040	4449	3800
83	1125	2910	2400	36	2060	5093	4000
150	1175	3478	2600	89	2100	5756	4200
264	1250	4069	2800	248	2200	6438	4400
347	1300	4682	3000	433	2300	7136	4600
435	1350	5969	3400	636	2400	7851	4800
527	1400	7329	3800	1082	2600	8582	5000
721	1500	8753	4200	1570	2800	9327	5200
927	1600	10239	4600	2093	3000	10859	5600
1145	1700	11781	5000	2645	3200	12446	6000

CHAPITRE III.

Une base étant donnée, trouver la figure du solide dont il faut la couvrir pour que l'impulsion qu'elle souffre en traversant un fluide, soit la moindre qu'il est possible.

I.

TOUS les conoïdes dont nous venons de parler, ne satisfont qu'à un cas très-limité du Problême général, dans lequel il s'agit de garantir du choc, non pas un plan circulaire, mais une base quelconque, en la couvrant d'une espece de conoïde qui éprouve de la part du fluide la moindre impulsion possible. Pour ne pas renvoyer le Lecteur au Volume de 1733 des Mémoires de l'Academie des Sciences où nous avons traité ce Problême, nous en donnerons ici une autre solution qui aura d'ailleurs plus de raport avec les choses qui nous restent à dire. Suposons que ABA (Fig. 107) est la base proposée, ou ce qui revient au même, que c'est la coupe de la carène faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros. Au lieu de former les autres coupes par des figures semblables ou à peu près semblables, nous leur donnerons les figures DEBED, FGBGF, &c. ou nous les terminerons de chaque côté par des droites verticales DE, DE & FG, FG &c, & en bas par des portions EBE, GBG de la courbe ABA. Nous pourrions substituer à la place des verticales DE, FG, des lignes inclinées, ou même des courbes, en observant seulement qu'elles fussent exactement paralleles. Cette condition est ici essentielle, pour la simplicité de la solution, parce que l'impulsion du fluide sur toutes les parties de la même zone, se fait ensuite exactement avec la même incidence; comme on le voit avec facilité en jettant les yeux sur la figure 108 qui représente

Fig. 107.

Fig. 107. & 108. le ſolide que nous voulons déterminer. Toute la partie ABI de la ſurface du ſolide eſt cilindrique ou comme cilindrique, & la ſurface AHI, quoique courbe de A vers HI, eſt formée de lignes droites poſées verticalement. Il eſt clair auſſi que ſi on coupe ce ſolide perpendiculairement à ſon axe CH par une infinité de plans, ces coupes fourniront les quadrilateres mixtilignes DEBED, FGBGF, &c. de la figure 107. Et il n'eſt pas moins évident que le fluide ne frappant point la partie inferieure de chacune des zones dans leſquelles ſera partagée toute la ſurface du ſolide, il ne rencontrera que les ſeules parties des flancs de chaque zone comme OPSR, & qu'il en rencontrera chaque partie avec la même obliquité.

Je nomme x les abſciſſes ou parties HM, HL, &c. de l'axe HC du ſolide & y les ordonnées correſpondantes MV, LR, &c. Ces ordonnées ſont égales à CF & à CD de la baſe ABA (Fig. 107); & puiſque cette baſe eſt donnée, on ſçait la relation des diſtances CF ou CD aux verticales FG & DE. Ces dernieres lignes ſont égales à une fonction des premieres; de ſorte que celles-ci étant déſignées par y, nous pourrions déſigner les autres par Y, & nous réuſſirions toujours à rapporter le Problême à la quadrature des courbes; mais nous nous contenterons d'employer d'abord $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}$, expreſſion dans laquelle il n'y a que y de variable. Je reviens au ſolide même, & je conſidere que le fluide venant le rencontrer parallelement à ſon axe HC, il rencontre chaque zone ORSP avec une incidence égale à l'angle ORN formé par le petit élément OR de la courbe AH de ſaillie, & par RN qui eſt parallele à l'axe HC. Si nous prenons l'unité pour ſinus total, nous trouverons le ſinus de l'angle d'incidence par cette analogie: OR $(\sqrt{\overline{NR}^2 + \overline{NO}^2}) = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ eſt à NO$=dy$, comme l'unité eſt à $\frac{dy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$, & nous aurons $\frac{dy^2}{dx^2 + dy^2}$ pour le quarré de ce ſinus. Or il faut, comme

nous l'avons déja dit tant de fois, multiplier ce quarré, non pas par toute la surface de la zone OS, mais par son étenduë projettée sur un plan perpendiculaire à l'axe, puisque nous ne voulons avoir que l'impulsion relative dans le sens de l'axe : c'est-à-dire, que l'étenduë qui doit être multipliée, n'a sur la hauteur $OP = DE = \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}$ que ON $= dy$ de largeur, & elle est donc exprimée par OP × ON ou par $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}} \times dy$; & l'impulsion relative sur la zone OS, est $\frac{dy^3 \times \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}}{dx^2 + dy^2}$. Fig. 107. & 108.

Il faut remarquer après cela, que nous confererons à toute la surface du solide la proprieté de recevoir la moindre impulsion directe ; si nous conferons cette proprieté aux zones sensibles dont on peut la concevoir formée : & que les zones sensibles jouiront de cette proprieté, si nous réussissons à la donner à toutes les zones infiniment étroites comme OS & RX considerées toujours deux à deux & consécutivement. Laissant pour cela les dy constantes, je fais seulement varier les dx d'une quantité infiniment petite du second ordre ddx. L'impulsion $\frac{dy^3 \times \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}}{dx^2 + dy^2}$ que recevoit une des zones, souffrira le petit changement $\frac{2dy^3 dxddx \times \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}}{\overline{dx^2 + dy^2}^2}$; mais en même tems l'autre zone recevra un petit changement contraire $\frac{-2dy^3 dxddx \times \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}}{\overline{dx^2 - dy^2}^2}$, parce que NR $= dx$ ne peut pas dans une zone augmenter de la petite quantité R$r = ddx$, sans qu'il se fasse sur dx dans l'autre zone, une diminution exactement égale ddx. C'est d'ailleurs ce que la figure offre aux yeux ; car si la zone OPSR prenant la situation OPsr reçoit moins d'impulsion ; parce qu'elle est choquée avec une plus grande obliquité, l'autre zone VXSR prendra en même tems la situation VXsr, & sera plus ex-

Fig. 107. & 108. posée au choc. Enfin pour que les deux petites zones jointes ensemble reçoivent le moindre choc possible; il faut conformement aux regles *de maximis & de minimis* que la différentielle de leur impulsion totale, soit nulle, & il faut donc que la différentielle particuliere & positive $\frac{2dy^3 dxddx \times \overline{b^n - cy^m}^{\frac{1}{n}}}{\overline{dx^2 + dy^2}^2}$ de l'impulsion que souffre une des zones, soit exactement égale à la différentielle négative de l'impulsion que souffre en même tems l'autre zone. Ainsi ces mêmes différentielles, considerées absolument, doivent être constantes, & elles seront donc encore égales à une grandeur déterminée a, lorsqu'on les aura également divisées par $2ddx$ qui est commune aux deux zones. C'est pourquoi nous avons $\frac{dy^3 dx \times \overline{b - cy^m}^{\frac{1}{n}}}{\overline{dx^2 + dy^2}^2} = a$ ou $dy^3 dx \times \overline{b^n - cy^m}^{\frac{1}{n}} = adx^4 + 2adx^2 dy^2 + ady^4$ pour l'équation en premieres différences de la courbe AOH de la proüe.

Cette équation se résoudra comme à l'ordinaire, en supposant une nouvelle variable z qui soit telle que $dx = \frac{zdy}{a}$. L'introduction de cette valeur de dx dans l'équation, la changera en $\overline{b^n - cy^m}^{\frac{1}{n}} \times \frac{z}{a} = \frac{z^4}{a^3} + \frac{2z^2}{a} + a$, dont on tire $y = \overline{\frac{1}{c} b^n - \frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^n}^{\frac{1}{m}}$; & cherchant la valeur de dy en différentiant pour l'introduire dans $dx = \frac{zdy}{a}$, il vient $dx = -\frac{n}{mc} \times \overline{\frac{1}{c} b^n - \frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^n}^{\frac{1}{m} - 1} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^{n-1} \times \overline{\frac{3z^3 dx}{a^3} + \frac{2zdz}{a} - \frac{adz}{z}}$. De sorte qu'on connoît maintenant la relation de x & de y à une troisiéme quantité z, à laquelle il ne s'agit plus que d'attribuer autant de différentes valeurs, qu'on voudra obtenir d'ordonnées

Digitized by Google

nées y & d'abſciſſes x, ou qu'on voudra déterminer de différens points de la courbe AOH. Cette courbe ne parviendra pas ordinairement juſqu'au point A ; mais on fermera l'ouverture qu'elle laiſſe, en prolongeant la ſurface IHOP. Fig. 107. & 108.

Cette ſolution, qui peut ſervir de modele à toutes les autres, eſt aplicable par elle-même, comme il eſt évident, à une infinité de différentes baſes. Elle donnera à la proue une figure qui ne ſera toujours ſujette qu'à peu de dérive, & qui ſera outre cela exempte des plus grands mouvemens du tangage. En mettant des nombres poſitifs à la place des expoſans m & n, on fera convenir cette ſolution aux baſes terminées par les cercles de tous les genres, & ſi on fait en particulier ces expoſans $=2$, afin de reduire la valeur générale $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}$ des verticales ou ordonnées FG, DE de la baſe de la figure 107, à $\sqrt{b^2 - cy^2}$ qui apartient à l'ellipſe ordinaire, on aprendra la courbure qu'il faut donner au ſolide qui doit couvrir cette figure. On aura alors

$$y = \sqrt{\frac{1}{c}b^2 - \frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^2} \text{ \& } dx =$$

$$\frac{-\frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}} \times \overline{\frac{3z^3dz}{a^3} + \frac{2zdz}{a} - \frac{adz}{z}}}{\sqrt{\frac{1}{c}b^2 - \frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^2}}.$$

Il ſuffit d'affecter le coëfficient c de ſignes contraires lorſque les baſes ſont hyperboliques ; & ſi on ſe contente de faire $n = 1$, ſans changer le ſigne de c, la ſolution conviendra aux baſes paraboliques de tous les genres, dont B ſera le ſommet & BC l'axe. Lorſqu'on voudra en particulier que la baſe BAB ſoit une parabole ordinaire ; il faudra ſupoſer $m = 2$ en faiſant toujours $n = 1$, afin de reduire la valeur $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}$ des verticales FG à cette autre $b^2 - cy^2$, dans laquelle b^2 déſigne CB, & cy^2 la quantité dont chaque verticale eſt plus courte. On aura alors $y =$

Fig. 107. & 108.

$$\sqrt{\frac{1}{c}b^2 - \frac{z^3}{ca^2} - \frac{2z}{c} - \frac{a^2}{cz}} \;\&\; dx = -\frac{\frac{3z^3dz}{2a^2} + zdz - \frac{a^2dz}{2z}}{\sqrt{c}\sqrt{b^2 - \frac{z^3}{a^2} - 2z - \frac{a^2}{z}}}.$$

Les cas les plus ſimples ne ſçauroient manquer de ſe trouver renfermés dans cette ſolution générale. Supoſé que les longueurs OP, RS des zones diminuent en progreſſion arithmetique, ou ſuivent la même loi que dans le conoïde circulaire où les circonférences des zones ſont comme leur rayon, il n'y aura qu'à rendre les verticales FG, DE, &c. proportionelles à leur diſtance CF, CD $(=y)$ au centre C, & il ſuffira pour cela de changer le ſigne de c, & de ſupoſer $b=0$, & les expoſans m & n égaux à l'unité, afin de convertir la valeur générale $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}$ des verticales en cy. Il eſt clair qu'on doit trouver enſuite la même courbure de ſaillie que pour le conoïde circulaire; car il n'importe que les zones ſoient étenduës en lignes droites ou qu'elles ſoient pliées en arc de cercle, auſſi-tôt qu'elles ſont de même longueur, & que toutes leurs parties ſont également expoſées au choc. Auſſi la valeur $\overline{\frac{1}{c} \times b^m - \frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}}^{\frac{1}{m}}$ de y ſe reduit-elle à $\frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}$ & celle $-\frac{n}{mc} \times \overline{\frac{1}{c}b^m - \frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}}^{\frac{1}{m}-1} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^{-1} \times \overline{\frac{3z^3dz}{a^3} + \frac{2zdz}{a} - \frac{adz}{z}}$ de dx à $\frac{1}{c} \times \overline{\frac{3z^3dz}{a^3} + \frac{2zdz}{a} - \frac{adz}{z}}$; ce qui s'accorde parfaitement avec la ſolution de M. Bernoulli. Enfin ſi les verticales FG, DE au lieu de croître en progreſſion arithmétique, ſont toutes parfaitement égales à CB; ce qui doit arriver lorſque la baſe ABA eſt un rectangle, il faut ſupoſer c nulle, afin de reduire l'expreſſion $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}$ des verticales à une grandeur conſtante $b^{\frac{m}{n}}$; & cette ſupoſition étant admiſe

Digitized by Google

dans l'équation $\overline{b^m - cy^n}^{\frac{1}{n}} \times \frac{z}{a} = \frac{z^4}{a^3} + \frac{2z^2}{a} + a$ qui eſt la premiere transformée de l'équation différentielle du Problême, il viendra $b^{\frac{m}{n}} \times \frac{z}{a} = \frac{z^4}{a^3} + \frac{2z^2}{a} + a$, qui nous aprend que z au lieu d'être variable, a une valeur déterminée, & que par conſéquent le raport de dx à dy, renfermé dans $dx = \frac{zdy}{a}$, eſt conſtant. Il ſuit de là que la ligne de ſaillie AOH eſt droite, & que la prouë eſt alors terminée par deux plans verticaux qui viennent ſe rencontrer ou ſe couper dans la verticale HI ; ce qui ſeroit une confirmation de ce que nous avons établi dans le premier article du Chapitre I. ſi la choſe en avoit beſoin. Fig. 107. & 108.

II.

Nous avons dit qu'on pourroit ſupoſer que les longueurs des zones de la ſurface du ſolide expoſé à l'impulſion du fluide ſont comme une fonction quelconque des ordonnées de ce même corps, & que le Problême ſe réſoudroit également. C'eſt ce que nous allons faire voir maintenant; en montrant en peu de mots que l'ancienne ſolution qui étoit particuliere à la baſe exactement circulaire, s'étend fort aiſément au cas le plus général, dans lequel la baſe propoſée qu'il s'agit de garantir du choc, peut avoir toute autre figure.

Que ABA (Fig. 109.) ſoit la baſe propoſée ; & concevons au dedans une infinité de lignes courbes GHG, FEF parfaitement paralleles au circuit exterieur ABA. Toutes ces lignes repréſenteront les contours des zones à peu près circulaires dont nous voulons maintenant que ſoit formée la ſurface du conoïde. Ainſi ſi les coupes du conoïde faites parallelement à ſa baſe ABA ou perpendiculairement à ſon axe, ne ſont pas encore ici ſemblables entr'elles & à la baſe, elles auront au moins toujours beaucoup plus de conformité. L'une de ces coupes, faite à peu de diſtance Fig. 109.

Fig. 109. de la base, sera égale à FEF, pendant qu'une autre moins éloignée du sommet, sera égale à GHG. Il est d'ailleurs évident que le parallelisme exact de toutes les lignes courbes FEF, *fef*, sera cause que chaque zone aura exactement la même largeur dans tout son contour, & qu'elle recevra le choc du fluide avec la même incidence dans toutes ses parties. Ainsi tous les raisonnemens que nous avons faits sur les zones étenduës en ligne droite, sont applicables à nos zones exactement courbées; & c'est précisement le même cas. Nous nommerons toujours x les parties de l'axe du conoïde à commencer à son sommet, & y ses ordonnées que nous prendrons dans le plan vertical qui le coupe selon son axe par la moitié & perpendiculaîrement à la base ABA. C'est-à-dire, que y ne désignera pas les demies largeurs horisontales du conoïde qui peuvent être plus ou moins grandes, selon que la base ABA & toutes les autres coupes paralleles différent plus ou moins du cercle; mais que y désignera les profondeurs du conoïde, ou les seules ordonnées verticales dont CB est la plus grande & la derniere; en un mot, y marquera toutes les lignes CH, ou Ce, CE, pendant que dy indiquera les parties comme Ee. Si après cela nous nommons Y les circuits, ou ce qui revient au même, les demi-circuits HG ou EF des lignes courbes qui servent de longueur aux zones, & que nous fassions les mêmes opérations en employant Y, que nous avons faites dans l'art. précédent en employant $\overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{n}}$; au lieu de parvenir à l'égalité $\frac{dy^3 dx \times \overline{b^n - cy^n}^{\frac{1}{n}}}{\overline{dx^2 + dy^2}^2} = a$, nous parviendrons à $\frac{dy^3 dx \times Y}{\overline{dx^2 + dy^2}^2} = a$, ou à $Y dy^3 dx = adx^4 + 2adx^2 dy^2 + ady^4$, qui est donc l'équation constitutive du Problême en premieres différences, & nous la changerons en $Y = \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}$, lorsque nous introduirons $\frac{zdy}{a}$ à la place de dx.

Mais cela ſupoſé, le Problême ſe reduit ſans peine à la ſimple quadrature des courbes; car il ne s'agit pour cela que de donner des valeurs geométriques aux deux équations $Y = \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}$ & $dx = \frac{zdy}{a}$, ou de les réaliſer, pour ainſi dire. Après avoir prolongé BC vers M, je prends le point C pour l'origine des quantités z que j'étends le long de CM; & faiſant les perpendiculaires SR, VT, &c. égales aux diverſes valeurs de Y, je trace la courbe NRQ en l'aſſujettiſſant à l'équation $Y = \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}$. Cette courbe eſt facile à décrire; ſes ordonnées comme VT, ſont toujours formées de trois parties, dont l'une $\left(\frac{z^3}{a^2}\right)$ eſt proportionelle au cube de l'abſciſſe correſpondante CV; l'autre partie eſt proportionelle à l'abſciſſe même, & en eſt le double ($2z$); & la troiſiéme $\frac{a^2}{z}$ ſuit la raiſon inverſe des mêmes abſciſſes. En un mot, on trouvera les ordonnées VT de la courbe QRN, en ajoutant enſemble les ordonnées de trois autres lignes; d'une premiere parabole cubique comparée à ſa tangente à ſon ſommet; d'une ligne droite comparée à une autre droite, & d'une hyperbole comparée à ſon aſymptote. La courbe QRN a la ligne droite CO pour aſymptote; l'autre branche RN a pour aſymptote une parabole cubique; & il eſt facile de voir que la plus petite ordonnée SR eſt égale à $\frac{16}{3\sqrt{3}} \times a$ qui répond à l'abſciſſe $CS = a\sqrt{\frac{1}{3}}$; deſorte que SR eſt à CS comme 16 eſt à 3. Fig. 109.

La courbe QRN étant tracée une fois, ſert pour toutes les differentes baſes ABA qu'on peut propoſer; parce qu'elle ne dépend point de la nature de cette baſe; mais nous avons beſoin d'un autre courbe CLI qui en dépend. Cette ſeconde a ſes ordonnées HL, EK, &c. égales à la longueur des zones, ou au circuit des courbes HG, EF correſpondantes, que nous avons conſiderées au-dedans de la baſe, & rendues exactement paralleles à ſon circuit. Lorſ-

Fig. 109. que la base est un cercle, toutes les courbes qui sont concentriques, & qui sont aussi des cercles, sont en progression arithmétique, & la courbe CLI devient droite: au lieu qu'elle est dans les autres cas presque toujours méchanique ou transcendante. Un autre moyen de rendre cette courbe géométrique, c'est celui que nous avons déja employé, de rendre droites les zones dans leur longueur: alors toutes ces longueurs ont entr'elles une relation qu'on peut exprimer en termes finis, puisqu'elles le sont par les droites mêmes tirées au dedans de la base ABA que nous suposons géometrique. Mais enfin on trouvera toujours au moins par les séries ou par les autres méthodes d'aproximation la longueur des courbes HG & EF, & par conséquent des droites HL & EF qui leur sont égales: & si de leur extremités L & K on conduit parallelement à BM les lignes LR & KT jusqu'à la rencontre de la courbe RN, & que des points R & T, on tire les ordonnées RS, TV, &c. on obtiendra la relation continuelle des quantités y, Y & z. Car pendant que CE representera y, la ligne EK nous donnera la valeur de Y, & CV celle de z, & ces trois quantités feront les correspondantes les unes des autres: pour chaque valeur CE de y, nous trouverons toujours en passant de la courbe CLI à la courbe QRN, la valeur CV de z qui lui repond.

Ainsi il ne reste plus pour obtenir la valeur des parties élémentaires dx de l'axe du conoïde, que nous offre l'autre équation $dx = \frac{zdy}{a}$ qu'à transporter les abscisses CV (z) en EZ sur le prolongement de KE: on fera passer par tous les points Z une nouvelle courbe YZX dont on connoîtra toutes les ordonnées, qui sera géometrique toutes les fois que la courbe CLI le sera; & ses trapezes élémentaires ZEez compris entre deux ordonnées infiniment voisines & qui seront les produits de ZE$=z$ par E$e=dy$, nous donneront des quantités continuellement proportionelles aux petites parties dx de l'axe ou de la saillie du conoïde que nous voulons déterminer. Nous pouvons nous

dispenser d'avertir que la courbe YX ne sera quelques fois Fig. 109.
que la courbe RN simplement transposée; puisque cela n'arrivera jamais que lorsque CI sera une ligne droite, ou que le conoïde sera exactement circulaire. Mais de ce que les petits trapezes EZ *ze* sont proportionels aux dx ou égaux aux dx multipliées par a, il résulte que nous n'avons qu'à chercher par les méthodes que nous enseigne la géomemetrie les aires des parties sensibles comme BXZE qui commencent à la derniere ordonnée BX, & que les divisant par a ou par son égale $\frac{3\sqrt{3}}{16} \times$ SR, nous aurons les parties sensibles de l'axe du conoïde, à commencer de sa base: de sorte que nous sçaurons à quelle distance de cette même base il faudra placer chaque coupe comme FEF. Si on cherche au contraire l'étenduë des espaces comme YHEZ qui commencent à la premiere ordonnée YH qui est égale à SC ou à $a\sqrt{\frac{1}{3}}$, on obtiendra en les divisant par a les parties x de l'axe du conoïde qui commencent à son sommet. L'autre branche RQ de la courbe NRQ fournira d'autres valeurs de z, qui étant appliquées perpendiculairement le long de HB, donneront un autre courbe YX, & d'autres valeurs pour les parties de l'axe du conoïde. La prouë prendra une autre forme; mais elle sera toujours également ouverte par l'extremité. Le demi-circuit HG de l'ouverture sera toujours égal à la plus petite ordonnée SR de la courbe QRN.

CHAPITRE IV.

De la formation de plusieurs autres prouës qui éprouvent la moindre résistance possible en fendant l'eau.

ON voit qu'il sera toujours facile de déterminer le solide dont on doit couvrir toute base proposée: il est même clair qu'en variant le sistême de ses coupes, on réus-

Digitized by Google

sira à trouver differentes solutions de ce Problême qui paroissoit auparavant assez difficile à traiter, lorsqu'on le consideroit généralement. Il faut cependant avouer qu'il n'est pas aisé dans la pratique de profiter de cette généralité, parce qu'il faudroit nécessairement s'engager dans le calcul d'un trop grand nombre de differentes tables pour les mettre entre les mains des Constructeurs. C'est ce qui m'a invité à chercher si on ne pouvoit pas tirer parti des Tables déja calculées des deux premiers conoïdes du Chapitre II. & j'ai reconnu sans peine qu'elles pouvoient nous suffire.

I.

Si l'ancien conoïde possede seul la proprieté de recevoir sur chaque zone de sa surface, de quelque largeur qu'elle soit, la moindre impulsion possible, les deux conoïdes ont au moins cela de commun, quoique le second ne jouisse de cette proprieté que sensiblement, que les especes de triangles, qui sont interceptés entre deux diverses situations de la courbe génératrice, & qu'on peut considerer comme les élemens de la surface, éprouvent aussi la moindre résistance. Il suit de-là que si la base du conoïde au lieu d'être un cercle, est un triangle ABD (Fig. 110.) on doit former avec la même courbe le conoïde triangulaire ADEB dont il faut couvrir ce triangle. Car la surface du conoïde triangulaire sera composée de triangles élémentaires de même grandeur, & également exposés à l'impulsion du fluide que ceux du conoïde circulaire. On voit assez que ce ne sont pas les trois courbes qui forment les arrêtes AE, BE & DE, qui doivent être égales à la courbe génératrice de l'un ou de l'autre conoïde dont la base est un cercle; mais que c'est la courbe FE dont le plan CFE est perpendiculaire au côté AD. En effet si on considere dans cet endroit un triangle élementaire F*ef*, il doit être parfaitement égal au triangle correspondant du conoïde circulaire inscrit; & il est évident que tous les autres triangles élementaires qui forment chaque face AED, doivent

Fig. 110.

doivent recevoir la même impulsion que le triangle F *ef*, Fig. 110.
aussi-tôt qu'ils ont leurs bases F*f* égales. On peut appliquer aussi ce que nous venons de dire des bases triangulaires à toutes les bases formées en poligone; aussi-tôt que toutes les perpendiculaires comme CF abaissées de leur centre sur leurs côtés, sont parfaitement égales.

Ce sera encore la même chose à l'égard des bases mixtilignes formées en parties d'arcs de cercles & de lignes droites, conditionnées comme nous venons de le spécifier. Si par exemple la base ADB est formée par en haut de deux arcs de cercles égaux, dont le centre soit en C, & par en bas de deux lignes droites tangentes aux deux extremités de ces arcs, lesquelles viennent se rencontrer en D; il est évident que le solide conoïdal dont il faudra couvrir cette base, doit être encore formé des mêmes lignes courbes que l'un ou l'autre conoïde parfait, l'ancien ou le nouveau.

II.

Nous saisirons l'occasion, puisqu'elle se presente, de faire remarquer le grand avantage dont jouit le conoïde triangulaire de la figure 110. De toutes les bases de même étenduë, c'est la circulaire qui est la moins propre à recevoir le solide de moindre résistance, & plus on reduira cette base à un poligone qui aura moins de côté, plus la figure deviendra avantageuse. Un quarré ou un rectangle est préférable à un cercle, & par la même raison un triangle est préférable à un quarré, & est à cet égard, plus avantageux que tous les autres poligones. La différence ne vient pas du plus ou du moins de fluide que le solide rencontre dans son mouvement, puisque les bases étant de même grandeur, tous les solides sont exactement choqués par le même nombre de molécules; mais l'avantage qu'a le triangle, & souvent aussi le trapeze sur le rectangle & sur tous les autres poligones, vient de ce que son apothême ou la perpendiculaire abaissée de son centre sur

Fig. 110. ses côtés, est plus petite; ce qui est cause que le solide qui le garantit du choc, est plus aigu. On doit, par exemple, quant à l'incidence avec laquelle se fait le choc, ne comparer le conoïde triangulaire que nous avons sous les yeux, qu'avec le conoïde circulaire qui a la perpendiculaire CF pour rayon de la base. Ainsi il est réellement moins obtus & éprouve moins de résistance que le conoïde circulaire dont la base est de même étenduë que la sienne, puisque ce dernier a son rayon considerablement plus grand que CF. Le conoïde triangulaire étant préférable en fait de resistance, il l'est aussi en fait de dérive dans les routes obliques; il rend cette dérive un *minimum minimorum*.

Si au lieu de comparer entr'elles les bases qui sont de même étenduë, on compare celles qui ont la même largeur & la même hauteur, on verra que le conoïde circulaire est très-préférable au conoïde circonscrit qui a un rectangle pour base, mais que le conoïde triangulaire l'emporte encore de beaucoup sur les deux autres. Comme sa base est considérablement plus petite que la circulaire, il rencontre dans son mouvement une moindre quantité de fluide, & outre cela, il la rencontre plus obliquement, à cause de la petitesse de la perpendiculaire CF. Ces deux chefs rendent l'impulsion presque trois fois plus petite; & il suit de là, que si les Frégates, dont les coupes faites perpendiculairement à la longueur, sont des demi-cercles, peuvent acquerir dans leur sillage la moitié de la vitesse absoluë du vent; celles ausquelles il sera permis de donner des coupes triangulaires, parce qu'elles seront moins embarrassées par le poids de leurs parties supérieures, pourront recevoir dans les routes à peu près directes, un quart plus de vitesse, ou prendre environ les cinq huitiémes de celle du vent.

III.

Mais pour revenir à la formation de nos solides, il est facile d'étendre infiniment davantage l'usage particulier de l'ancienne solution ou de l'ancienne figure, parce que,

comme on l'a déja dit plusieurs fois, la proprieté de recevoir la moindre impulsion, n'est pas plus attachée à la surface entiere qu'à quelle zone on veut, qui est comprise entre deux cercles paralleles. Suposons qu'il s'agisse d'une base ABDE (Fig. 111.) faite en rectangle ou en trapeze, entre les côtés duquel il y ait quelle proportion on voudra; ou prenons une autre base (Fig. 112.) composée de deux quarts de cercle AOB & PED liés ensemble par un rectangle intermediaire BOPD. Je conçois dans ces bases au dedans les unes des autres des paralleles FGHI, KLMN, &c. au circuit ABDE; en faisant ensorte que toutes les parties de ces paralleles soient exactement à la même distance les unes des autres: cette condition sera remplie dans la premiere de ces deux figures si tous les points G, L, &c. H, M, &c. sont situés sur les deux lignes droites BO, DP qui divisent les angles ABD, EDB, par la moitié. Ces paralleles représenteront les différentes coupes verticales de la prouë, faites perpendiculairement à son axe, ou parallelement au plan ABDE sur lequel elles sont projettées; & il est évident qu'elles diminueront ici en progression arithmétique. Mais il n'en faut pas davantage, pour qu'on puisse donner la même courbure au conoïde dont il faut couvrir ces bases, qu'à l'ancien qui a pour base un cercle; & cela parce que dans l'ancien conoïde, de même que dans tous les autres qui sont exactement circulaires, les circonférences des zones observent la même loi, ou qu'elles sont en progression arithmétique, aussi-tôt que les ordonnées s'excedent d'une quantité constante les unes les autres. J'examine le raport qu'il y a entre la circonférence ABDE de la base & la parallele la plus intérieure, ou la plus petite, qui se reduit ici à la seule ligne OP. Je cherche deux ordonnées CD & XV, (Fig. 105.) qui ayent entr'elles le même raport dans la courbe BVD, qui forme le conoïde parfait de *moindre résistance*; & je reconnois que c'est de la partie DV de la courbe dont il faut se servir, pour former les conoïdes dont nous avons actuellement besoin. Fig. 111. & 112.

Fig. 111. & 112. Le conoïde de la figure 111. aura trois faces distinctes; les deux latérales seront triangulaires & l'inférieure aura la forme d'une espece de trapeze. Mais chaque de ces faces doit avoir dans le sens perpendiculaire aux trois côtés AB, BD & DE de la base, la courbure représentée par l'arc DV de la figure 105. Ce sera la même chose, pour le conoïde de la figure 112. qui aura la forme représentée dans la figure 113. & qui se terminera de même que le précédent, par une ligne droite ST, excepté dans le cas où OP sera trop petite; car alors l'un & l'autre conoïde aura une ouverture à son sommet, qui répondra à celle qu'a toujours le conoïde qui est exactement circulaire. Nos deux solides irreguliers ne ressemblent aucunement à celui dont nous les déduisons; mais il est néanmoins évident que les zones des uns sont égales aux zones correspondantes de l'autre. Elles n'ont pas les mêmes rayons, où elles ne repondent pas aux mêmes ordonnées; mais les différences des ordonnées sont exactement les mêmes; de même que les petites parties de l'axe ausquelles elles repondent: de plus leurs circuits ou circonférences sont précisement de même longueur, ou ont au moins des longueurs proportionelles. Ainsi, outre qu'elles ont des surfaces de même étenduë, elles sont exposées au choc exactement avec la même incidence, & par conséquent les impulsions particulieres que souffrent toutes les zones, suivent la même loi ou la même progression. C'est pourquoi un des conoïdes ne peut pas éprouver de la part du fluide, la moindre résistance possible, sans que les autres n'ayent aussi la même proprieté.

Fig 112. & 113. Si la largeur AE (Fig. 112 & 113.) de la base ou de la plus grande des coupes verticales est de 40 pieds, pendant que la hauteur ou le creux OB ou PD est de 16 pieds, comme cela se trouve dans plusieurs Navires, l'intervale OP sera de 8 pieds, & les arcs de cercle AB & DE qui auront 16 pieds de rayon, seront chacun d'environ $25\frac{1}{7}$ pieds. Ainsi la circonférence ABDE de la plus grande zone sera de $58\frac{2}{7}$ pieds; au lieu que le circuit OP, ou ST

de la plus petite, ne sera que de 8 pieds. Cela supposé, il n'est question que de trouver dans la courbe BD (Fig. 105.) ou dans la Table des dimensions de la même prouë, deux ordonnées qui soient dans le même raport. On peut en trouver une infinité; comme 308 & 2244; ou 400 & $2914\frac{1}{4}$, &c. On prendra les premieres ou les dernieres, selon qu'on voudra donner plus ou moins de saillie à la prouë. Si on s'arrête à 400 & à $2914\frac{1}{4}$, leur différence $2514\frac{1}{4}$ qui est égale à DY (Fig. 105.) représentera AO, ou BO, ou DP, pendant que la différence XC ou VY $= 5470$ des abscisses 78 & 5548, marquera la saillie OS de notre conoïde ou de notre prouë, & que DV marquera la courbure AS. La différence DY $= 2514$ des ordonnées repondant à AO qui est de 16 pieds; la différence 5470 des abscisses repondra à proportion à environ 34 pieds $9\frac{2}{3}$ pouces pour la saillie OS du conoïde; & il n'y aura donc pour obtenir effectivement la courbure AS de la prouë, en employant notre Table, qu'à tracer une figure semblable à la cent cinquiéme, & qui soit assez grande pour que les 2514 parties de DY repondent à 16 pieds, ou les 5470 de YV à 34 pieds $9\frac{2}{3}$ pouces; & alors la portion DV indiquera la courbure requise AS ou BS. En un mot, il n'y a toujours qu'à se souvenir que si la Table ne marque pas immédiatement les ordonnées & les abscisses de la courbe AS (Fig. 113.) ce n'est que parce que nous n'employons qu'une partie de la courbe DB de la figure 105. & que nous la raportons à une autre axe. Mais il n'y a qu'à retrancher 400 pour la valeur de XY, de toutes les ordonnées de la Table, & 78 pour la valeur de AX, de toutes les abscisses; & on aura les ordonnées & les abscisses de l'arc VD par raport à VY pris pour axe, ou les co-ordonnées de notre courbe AS (Fig. 113.) par raport à son axe OS.

Fig. 112. & 113.

IV.

Voici encore un expedient très-simple par le moyen duquel on donnera plusieurs autres figures à la prouë, &

Digitized by Google

dont on pourra se servir lorsqu'on voudra que la carène ait moins de façons. Cet expedient, qui a quelque raport avec la solution du premier article du Chapitre précédent, consiste à donner aux coupes de la prouë, vers son extrémité, des figures différentes de celle qu'a la plus grande coupe : c'est ce que nous éclaircirons par quelques exemples.

Lorsque la coupe verticale du Vaisseau faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros, sera
Fig. 114. & 115. un trapeze ABDE (Fig. 114.) au lieu de former les autres coupes par d'autres trapezes, dont les deux côtés & la base inférieure conservent un parfait parallelisme avec les côtés & la base du premier trapeze ABDE, comme dans la figure 111, il n'y aura qu'à retrecir seulement les trapezes FGHI, KLMN, &c. Le Lecteur sçait le motif que nous avons d'insister souvent sur ces sortes de figures; nous l'avons exposé dans le Chapitre VII. de la Section précédente. Les coupes deviendront des triangles OVP, QRS, &c. lorsque le retrecissement sera porté plus loin; & enfin la prouë deviendra semblable à celle qui est représentée dans la figure 115. A l'égard de toute la partie qui aura les trapezes pour coupes, il faudra qu'elle soit parfaitement rectiligne, ou ce qui revient au même, que les deux flancs de la prouë, soient des surfaces exactement planes, jusqu'à ce qu'ils viennent former par leurs extrémités le triangle OVP. Les deux flancs ABVO, & EDVP qui sont parfaitement plans, deviennent ensuite courbes prolongés au-delà du triangle OVP; & la prouë prend la forme d'un conoïde triangulaire dont Z est le sommet, & qui est semblable à celui de la figure 110.

Il n'est pas difficile de se convaincre que toute la premiere partie de la prouë doit être formée par des plans. On voit assez qu'il ne faut point faire entrer dans les circuits des zones les bases BD, GH, &c. puisqu'elles ne sont point exposées au choc. Ainsi les circuits des zones n'augmentent plus ici en progression arithmétique; mais ils sont parfaitement égaux; & les lignes AO & BV, &c. (Fig. 115.) au lieu de répondre à une partie sensible de la

Digitized by Google

courbe BVD de la figure 105, ne le doivent faire qu'à une partie infiniment petite; & elles doivent par conséquent être droites. C'est ce qui se consilie aussi, non-seulement avec ce que nous avons vû à la fin du Chap. précedent, mais aussi avec ce que nous avons prouvé dans l'article I. du Chapitre I. Car si les lignes droites BV & DV (Fig. 115.) reçoivent la moindre impulsion possible, elles ne doivent pas perdre leur proprieté, lorsqu'on leur donne une certaine largeur, pourvû que ce soit la même par tout.

Fig. 116. & 117.

V.

Ce sera encore la même chose, si on le veut, lorsque la plus grande coupe AOPPOA (Fig. 116.) sera formée de chaque côté par un arc AO de cercle, par une droite OP tangente à l'extrémité O de l'arc, & enfin par une droite horisontale PP. Les autres coupes, comme FGHIIHGF, seront formées de chaque côté par un arc FG parallele à AO, & dont le centre sera en C; par une droite GH parallele & égale à OP; & par un arc de cercle HI dont le centre sera en P. Cette seconde coupe aura pour base II qui sera, pour ainsi dire, *le plat* de la varangue, & qui ne sera point exposée à l'impulsion; & cette base se réduira à rien, lorsque la coupe deviendra KMEMK. Mais enfin les contours ou les demi-contours, comme AOP, FGHI, KLME, qui seront exposées au choc de l'eau, au lieu d'être en progression arithmétique, seront encore parfaitement égaux dans toutes les premieres zones, comme il est facile de le reconnoître. Ainsi il est certain que la saillie de la prouë doit être formée en ligne droite, au moins depuis la coupe APPA jusqu'à l'autre KLELK. Entre AO & KL, la prouë sera une portion de zone de cone: entre OP & LM, la surface sera un rectangle; & depuis P jusqu'en ME, ce sera une surface concave conique dont le sommet sera en P. C'est ce que j'ai tâché d'exprimer dans la figure 117, mais en laissant à l'imagination du Lecteur à supléer au défaut de la repré-

Fig. 116. & 117. ſentation. Au-delà de la coupe KMEMK, la prouë prendra ſenſiblement la forme dont nous avons parlé à la fin du premier article. Je dis ſenſiblement ; car elle ne prendra exactement cette figure qu'au-delà de la coupe RQR. Toute la partie interceptée entre KMEMK & RQR devroit être un peu plus convexe ; mais on peut ſans inconvenient négliger cette plus grande convexité; & ſe ſervir toujours des dimenſions marquées dans la premiere Table du Chapitre II. Quelquefois on recherche avec ſoin les difficultés géométriques, pour avoir le plaiſir de les reſoudre; au lieu que nous les évitons actuellement avec le même ſoin, afin d'épargner aux Conſtructeurs, s'il eſt poſſible, toutes les diſcuſſions un peu embarraſſantes.

VI.

Toutes ces figures changeront un peu, ſi au lieu de donner à la prouë la proprieté de fendre l'eau avec la plus grande facilité poſſible dans la route directe; on veut qu'elle ait cette proprieté dans les ſeules routes obliques, lorſque le Navire eſt le plus incliné. Si le Vaiſſeau ne s'inclinoit pas, ou ſi en s'inclinant, le circuit des coupes ou des zones de ſa ſurface ne ſouffroit aucun changement, la figure qui éprouve la moindre impulſion dans un cas, l'éprouveroit auſſi dans les autres; ce qui arrive à la prouë parfaitement conoïdale. Mais il y a ordinairement de la difference, & lorſqu'il y en aura, il vaudra mieux s'attacher à accelerer la viteſſe du ſillage dans les routes obliques. Supoſé donc que le Vaiſſeau donc ABDE (Fig. 114.) eſt la plus grande coupe verticale faite perpendiculairement à ſa longueur, s'incline, lorſqu'il ſingle le plus obliquement, de maniere que la ligne *ae* devienne horiſontale & ſe trouve dans la ſurface de l'eau; les circuits *a*B+D*e*, *f*G+H*i* &c. des coupes expoſées au choc, ne feront plus égaux entr'eux, mais ſeront en progreſſion arithmetique. C'eſt pourquoi les flancs de la prouë ne ſeront plus des ſurfaces planes comme dans la figure

Fig. 114.

Digitized by Google

figure 114, mais ils auront une courbure considerable qu'il faudra déterminer par la méthode expliquée dans l'article II. Rien ne changera dans la prouë dont AOPPOA (Fig. 116.) est la premiere coupe, à moins que pour rendre le Vaisseau meilleur voilier, on ne termine le haut de cette coupe, par deux tangentes T*a*, T*a*: lorsque le Navire singlera dans les routes obliques, ce sera ensuite *a*TPPT*b* la partie actuellement plongée; & les circuits des premieres zones, au lieu d'être égaux, pourront être considerés comme en progression arithmetique, quoi qu'ils ne suivent pas exactement cette progression. Fig. 116.

VII.

Mais enfin on voit que dans toutes les differentes figures que nous attribuons à la coupe du Navire faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros, la prouë ne prend pas une plus grande courbure dans sa saillie, que n'en a la surface de l'un ou de l'autre conoïde parfait qui éprouve le moins de résistance; & que quelquesfois cette courbure s'évanouit entierement & se transforme en ligne droite, pour ne rien dire du cas où elle passe de l'autre côté de la ligne droite, en devenant concave. Ainsi la courbure que doit avoir la prouë dans sa saillie, ne varie qu'entre des limites assez étroites. L'une de ces limites est la ligne droite, & l'autre laquelle on veut des deux courbes qui engendrent les deux conoïdes parfaits que nous avons montré à tracer. Selon que les circuits des zones de la prouë approchent plus d'être égaux entr'eux ou diminuent plus subitement, la figure s'approche plus ou moins de l'un ou de l'autre terme. On voit aussi maintenant la raison pour laquelle plus on diminuë *les façons* de l'avant, plus on doit rendre les *lisses* droites*. On ne peut pas diminuer les façons sans augmenter le circuit des zones de l'extremité de la prouë, puisque ces zones descendent ensuite plus bas ou plus près de la quille; & les circuits des zones approchant d'être égaux, la cour-

* Voy. le Chap. II. Section. I. Liv. I.

bure dans le sens de la saillie doit disparoître, ou ce qui revient au même, toutes les *lisses*, non seulemement celles d'en bas, mais celles d'en haut doivent perdre de leur courbure, & devenir plus droites. Il faudroit même les rendre parfaitement droites, conformement à ce que nous avons établi, si les contours des zones exposées au choc étoient exactement égaux.

Ce que nous avons dit touchant le retrecissement subit qu'on doit donner à la partie de la carène qui forme la prouë, à commencer de l'endroit le plus large, se trouve également confirmé ici. Car il n'importe que la prouë prenne dans le sens de sa saillie plus ou moins de convexité, la premiere partie de la courbure à commencer vers le milieu du Vaisseau, au lieu de rester sensiblement parallele à l'axe dans un certain espace, commence toujours par s'en approcher, ou à devenir convergente avec lui : ce qui démontre que le Navire doit perdre tout à coup sa plus grande grosseur, malgré la pratique contraire & constante de tous les Constructeurs. Il faut encore une fois que le premier gabari ou que cette coupe dans laquelle le Navire est le plus gros, soit marquée par une arrête; & que la prouë soit sensiblement distinguée de la poupe, ou la partie antérieure de la carène de la partie postérieure, à peu près comme le feroient deux cones, ou pour le moins deux conoïdes hyperboliques ou paraboliques joints par leurs bases. Je sçai bien qu'il est assez difficile de suivre entierement en cela les préceptes de la Théorie; une pareille arrête seroit très-sujette à se briser. Mais il faut au moins, si on peut se permettre de l'effacer, se ressouvenir qu'elle devroit subsister, & qu'elle est toujours demandée par la figure qui trouve le moins de résistance à fendre l'eau.

VIII.

Après tout, la nature du Problême que nous traitons actuellement, laisse une assez grande liberté aux Construc-

teurs, & c'est la même chose de tous les autres dont il est question dans cette Section. Quelquesfois, lorsqu'il s'agit d'obtenir le *maximum* ou le *plus grand* de certains avantages, on manque tout, si on s'éloigne le moins du monde du terme précis; & quelques autres fois on peut sans inconvenient se dispenser de s'y assujettir dans la derniere rigueur. Cette difference vient des diverses loix que suivent entr'elles les differentes quantités entre lesquelles il s'agit de choisir. Si ces quantités sont exprimées par les ordonnées d'une courbe qui devienne parallele à son axe, il y a un espace considerable où toutes les ordonnées sont sensiblement égales; & quoi qu'il soit vrai mathématiquement parlant que le point où se trouve la plus grande ou le *maximum*, n'a aucune extension; il n'est pas moins certain qu'on peut dans la pratique s'arrêter à quelque distance de ce point, & jouir encore du même avantage. C'est ce qui arrivera toutes les fois qu'il faudra, comme ici, pour résoudre le Problême, rendre nulle la differentielle & non pas la rendre infinie. Le *maximum* étant de cette espece dans toutes les Recherches presentes, il en résulte comme on le voit, une commodité considerable; on peut sans inconvenient alterer les figures géometriques, aussi-tôt qu'on y sera obligé par quelques circonstances, effacer les angles, adoucir certains contours &c. Il suffira dans tout cela de ne pas agir comme si on n'avoit aucune connoissance du terme dans lequel reside la perfection, & d'être attentif de ne violer que le moins qu'on pourra la regle, dans les occasions mêmes, où on sera obligé de la violer le plus. Il est vrai aussi, pour tout dire, que l'avantage qu'on peut se proposer ici est, par cette même raison, beaucoup moins considerable que celui qu'on obtiendra en changeant les principales dimensions du Navire. C'est le retrecissement de la carène ou son allongement qu'il faut sur tout avoir en vûë; parce que le changement n'a point alors de terme, ou qu'il n'a de borne que l'infini.

CHAPITRE V.

De la prouë de la plus grande vitesse, ou de celle qui rend le Vaisseau le plus capable de porter la Voile, en même tems qu'elle fend l'eau avec le plus de facilité.

I.

NOus nous sommes tellement livrés à l'examen des figures, qui souffrent par la rencontre des fluides la moindre impulsion possible, ou qui dérivent le moins qu'il se peut*, que nous avons comme oublié la distinction qu'il y a entre ces figures & celles qui sont réellement les plus avantageuses pour rendre le sillage rapide. Dans la recherche des premieres, nous n'avons eu égard ni à la pesanteur du Navire, ni à la force qu'il doit avoir pour soutenir la voile : il n'a été question que de déterminer la forme qui devoit éprouver moins de résistance de la part de l'eau, quoi qu'il se puisse faire que cette proprieté fasse tort à quelqu'autre qui influë autant sur le sillage. Il nous faut maintenant joindre l'autre considération, faire attention à la pesanteur du Navire, ou plutôt à son moment par raport au métacentre. Il est certain qu'à cause de cette nouvelle condition, le premier degré de renflement que nous donnerons à la prouë, que nous regardions comme parfaite, ne sera toujours qu'avantageux. Car la résistance qu'éprouvoit la prouë étant un *minimum*, & sa différentielle étant nulle; lorsqu'on commencera à grossir la prouë, en partant de cette figure déja reglée, la résistance ne changera point, & néanmoins la solidité du Vaisseau, sa pesanteur, sa force pour porter la voile augmenterom; & il y aura donc réellement à gagner. Il est vrai qu'il se peut faire que cet avantage ne s'étende pas loin; parce que pour peu qu'on renflera la partie antérieure de la carène, la rési-

* Voy. le Chap. 8 de la 1re. Sect. de ce 3e. Livre.

Digitized by Google

ſtance de l'eau augmentera en plus grande raiſon que la plus grande étenduë qu'on pourra donner aux voiles. Mais puis qu'il eſt démontré que les premiers degrés de changement ſont bons, il eſt à propos de voir ſi les autres ne le ſeront pas également : c'eſt toujours une choſe qui mérite d'être ſérieuſement examinée.

II.

Nous ne devons pas regarder ici le tranſport d'une plus grande maſſe, comme un effet plus grand qui ſoit à rechercher; puis qu'il n'eſt queſtion pour nous, que de procurer au ſillage la plus grande rapidité poſſible; ſans que nous nous mettions en peine le moins du monde, de la quantité de la charge que pourra porter la Frégate ou la Corvette. Il eſt vrai, que ſelon que la carène a plus ou moins de maſſe, ſon inertie ſe refuſe d'abord plus ou moins à la viteſſe qu'on veut lui imprimer, & que le Navire met plus ou moins de tems à acquerir ſon mouvement uniforme, comme nous l'avons déja dit pluſieurs fois. Mais qu'importe-t-il que cette acquiſition ſe faſſe plus ou moins vite ; puiſqu'il eſt certain que la choſe ſe conſomme toujours dès les premiers inſtans du ſillage, avant même qu'on ait achevé d'orienter les voiles ; & que le plus ou le moins de maſſe ne change rien au dernier effet ou à la viteſſe acquiſe & déja uniforme, qui ne dépend que du ſeul équilibre entre l'effort du vent & la réſiſtance de l'eau? Ainſi il eſt clair qu'on doit s'attacher ici à diminuer cette derniere réſiſtance, ſans nul égard à la maſſe tranſportée; ou que ſi l'on y a égard, ce doit être dans l'unique vûë d'augmenter la ſtabilité du Navire, afin de pouvoir donner plus d'étenduë aux voiles.

III.

Il y auroit une autre attention à avoir, ſi les Navires n'étoient deſtinés qu'à ſingler vent en poupe. Il faudroit rendre l'impulſion relative verticale de l'eau ſur la prouë,

la plus grande qu'il se pourroit par raport à l'impulsion relative qu'elle souffre dans le sens direct ou de l'axe. La prouë étant ensuite poussée en haut avec le plus de force, ou ce qui revient au même, la direction du choc de l'eau faisant un plus grand angle avec l'horison, *le point vélique* se trouveroit plus élevé; le Vaisseau pourroit porter plus de voiles, & une mâture plus haute dans la route directe; ce qui rendroit sa vitesse infailliblement plus grande; puisque la résistance de l'eau seroit en même tems la moindre qu'il seroit possible, eu égard à la grande impulsion du vent. Mais il paroît plus sûr de regler les dimensions de la voilure sur ce qu'exigent les routes obliques, dans lesquelles la mâture trop haute exposeroit aux plus grands dangers: En effet, si pour profiter de l'avantage qu'a la route directe, on donnoit de plus grandes dimensions à la mâture, on se trouveroit exposé, à périr toutes les fois qu'il faudroit passer tout à coup à une route fort oblique, avant qu'on eût eu le tems de caler les voiles. Il faut remarquer outre cela que la proprieté qu'auroit la prouë d'être poussée dans le sens vertical avec plus de force, préjudicieroit à celle qu'elle doit avoir d'être exposée à peu d'impulsion dans la détermination de son axe. Ces deux avantages bien loin d'être attachés l'un à l'autre, sont au contraire réellement incompatibles dans presque toutes les figures; si on en excepte quelques unes, comme la prouë qui est terminée par un seul plan rectangulaire incliné en avant. C'est ce que nous pouvons sans doute nous dispenser de démontrer; puisque, tant s'en faut que nous devions rechercher un de ces avantages au préjudice de l'autre; nous ne pouvons pas même souvent en profiter, lorsqu'il vient comme s'offrir à nous.

IV.

Ainsi nous ne devons nous proposer dans la discussion présente, de diminuer la résistance que trouve la prouë à fendre l'eau, qu'autant qu'on le peut faire sans trop nuire

à la grandeur de la mâture : le Navire singlera ensuite plus vite, & on jouira de cet avantage sans courir de risque. Nous ne devons pas rendre la résistance un *minimum* absolu comme ci-devant; mais la rendre la moindre que nous pouvons, eu égard au moment de la pesanteur du Navire par raport au métacentre; parce que c'est de la grandeur de ce moment que dépend la quantité des voiles que le Vaisseau peut soutenir. Si la poupe étoit assez grande par raport à la prouë, pour qu'il fût permis de regarder son moment comme infini, alors le plus ou le moins de renflement de la prouë n'aporteroit aucun changement au moment total, & il faudroit donc dans ce cas, choisir entre toutes les figures celle qui éprouveroit absolument la moindre résistance. C'est ce qui montre que les conoïdes que nous avons déja déterminés, servent de limites d'un côté aux figures les plus avantageuses. A mesure qu'on supose ensuite que le moment total de la pesanteur du Navire diminuë, il faut renfler la prouë en s'éloignant par conséquent de la figure de moindre résistance; & l'autre limite celle du plus grand renflement, se trouve, lorsqu'on suprime toute la poupe ou qu'on reduit le moment de la pesanteur du Vaisseau à n'être plus le moment que de la seule pesanteur de la prouë. Mais dans ce dernier cas, de même que dans tous les intermédiaires, la figure la plus avantageuse devient encore de plus en plus conforme à celle de la moindre résistance, à mesure qu'elle aproche de son extrémité ou de son sommet : & cela parce que le moment de la partie restante diminuant toujours par raport au moment total, on est plus en droit de considerer ce dernier moment comme infini.

V.

Outre cette affinité qu'il y a entre les deux figures de la prouë *de la moindre resistance* & de la prouë *de la plus grande vitesse*, ces deux figures deviennent absolument les mêmes, toutes les fois que la coupe horisontale de la carène faite à fleur d'eau, est donnée, ou est regardée com-

invariable. Nous sommes obligés de suposer ici que le centre de gravité du Navire est précisement dans le même point que le centre de gravité de sa carène: puisque nous ne sçavons pas de quelle matiere doit être formée la charge ou le lest. D'ailleurs il suffit que la pesanteur soit distribuée d'une maniere semblable dans les differentes figures qu'on compare actuellement, pour que cette suposition n'induise jamais à erreur. Mais aussi-tôt que la coupe horisontale de la carène faite à fleur d'eau, est invariable, sans que les diverses figures de la prouë y apportent de difference, la force qu'a le Navire pour soutenir la voile est constante, elle est égale ou proportionelle au produit de la pesanteur p par la quantité $\frac{\frac{2}{3}\int y^3 dx}{p}$ dont son centre de gravité est au-dessous du métacentre *, & ce produit ou ce moment est égal à $\frac{2}{3}\int y^3dx$. Ainsi l'alteration qu'on feroit à la figure de la moindre résistance, seroit non seulement inutile, elle seroit en pure perte. C'est ce qui ariveroit, par exemple, dans les Vaisseaux formés d'abord en parallelipedes rectangles, mais dont on termine ensuite la prouë par une seule surface inclinée en avant: car cette surface étant partout de même largeur, doit être parfaitement plane, afin d'éprouver de la part de l'eau la moindre résistance; & il est évident que la convexité qu'on lui donneroit en la rendant courbe, n'ajouteroit rien au moment ou à la force relative $\frac{2}{3}\int y^3dx$.

* Voyez l'art. 2. du Chap. 8. de la Sect. 2. du Liv. précédent.

Nous voyons par la même raison que la prouë de la figure 104 dont nous avons donné les dimensions à la fin du premier Chapitre de cette Section, réunit les deux propripriétés, d'être de *la moindre résistance* ou de *la moindre dérive*, & en même tems de *la plus grande vitesse*: puisqu'on perdroit du côté de la moindre résistance, si on changeoit la courbure que nous avons trouvé qu'elle doit avoir dans le sens vertical, & qu'on ne gagneroit rien sur la quantité de voiles que le Navire peut soutenir. Mais ce ne sera plus la même chose, aussi-tôt que la figure de la premiere tranche de la carène faite à fleur d'eau, dépendra de la conformation

conformation des autres parties de la prouë, comme cela arrive lorſqu'on s'aſſujetit à rendre la prouë exactement conoïdale : il eſt évident que les deux figures doivent être differentes dans ce cas. En renonçeant un peu à la premiere, lorſqu'on renfle la prouë, on donne néceſſairement plus de largeur vers l'avant, à la premiere tranche de la carène; & auſſi-tôt que cette largeur eſt plus grande, la force relative ou la ſtabilité $\frac{2}{3}\int y^3dx$ ſe trouve auſſi plus grande, & le Navire peut porter une plus grande quantité de voiles. C'eſt ce qui ſe vérifiera auſſi dans la Recherche que nous entreprenons actuellement de faire de la ſeconde de ces figures.

VI.

Nous travaillerons d'abord à découvrir les ſoutagentes de la courbe qui doit former le conoïde, en regardant la prouë comme un cone tronqué d'une baſe & d'une hauteur données, mais dont nous ferons varier la ſituation des côtés. Ce tronc de cone eſt repréſenté par BGIHDE (Fig. 106.) nous nommerons a ſa hauteur ou ſa ſaillie AC; b le rayon CE ou CD de la baſe, & s la longueur entiere qu'auroit l'axe CF du cone, s'il n'étoit pas tronqué. Le rayon AI ou AH de la petite baſe, ſera $\frac{\overline{s-a}\times b}{s} = \frac{FA\times CE}{FC}$; & ſi au lieu de chercher l'étenduë de cette petite baſe, nous prenons le quarré de ſon rayon qui lui eſt proportionel, nous aurons $\frac{\overline{s^2-2as+a^2}\times b^2}{s^2}$ qu'il faut multiplier par le quarré du ſinus total (l'unité) pour avoir l'impulſion $\frac{\overline{s^2-2as+a^2}\times b^2}{s^2}$ que ſouffre le petit plan GIH qui eſt frapé perpendiculairement. Nous trouverons le ſinus de l'angle d'incidence avec lequel l'eau frape la ſurface courbe du cone, en faiſant cette analogie ; $\sqrt{b^2+s^2}$ (=FE) eſt à l'unité priſe pour ſinus total, comme b (=CE) eſt au ſinus $\frac{b}{\sqrt{b^2+s^2}}$ de l'angle EFC égal à l'angle d'incidence. Ce ſi- Fig. 106.

Digitized by Google

Fig. 106. nus étant trouvé, il faut multiplier ſon quarré $\frac{b^2}{b^2+s^2}$ par l'étenduë de la ſurface conique projettée ſur le plan BED; puiſque nous voulons trouver l'expreſſion de l'impulſion dans le ſens perpendiculaire à ce plan; c'eſt-à-dire, qu'il faut multiplier $\frac{b^2}{b^2+s^2}$ par l'excès du demi-cercle BED ſur le demi-cercle GIH, ou mettant les quarrés des rayons CE & AI à la place des demi-cercles, il faut multiplier $\frac{b^2}{b^2+s^2}$ par $\frac{2as-a^2}{s^2}\times b^2$; on aura $\frac{2ab^4s-a^2b^4}{b^2s^2+s^4}$ pour l'impulſion requiſe, & l'ajoutant à celle $\frac{s^2+2as+a^2}{s^2}\times b^2$ que reçoit le plan GIH, nous aurons $\frac{a^2b^2+b^4-2ab^2s+b^2s^2}{b^2+s^2}$ pour l'impulſion que ſouffre la ſurface entiere du tronc du cone.

On trouvera avec auſſi peu de peine la ſolidité de ce tronc & ſon moment par raport au métacentre qui eſt en quelque point de l'axe AC. Si l'on continuë à prendre les quarrés des rayons au lieu des demi-cercles & ſi on multiplie chacun de ces quarrés encore par le rayon, parce que le centre de gravité de chaque demi-cercle eſt toujours à une certaine partie de ſon rayon, & qu'il ne s'agit pas plus ici d'avoir le moment même qu'une quantité qui lui ſoit toujours proportionelle, on trouvera $ab^3-\frac{3a^2b^3}{2s}+\frac{a^3b^3}{s^2}-\frac{a\,b^3}{4s^3}$ pour le moment du ſolide dont il s'agit; & ſi nous déſignons par M le moment de la poupe, nous aurons $M+ab^3-\frac{3a^2b^3}{2s}+\frac{a^3b^3}{s^2}-\frac{a\,b^3}{4s^3}$ pour le moment total du Vaiſſeau ou pour ſa ſtabilité. Il eſt vrai que nous conſidérons le poids comme également diſtribué par tout, ou la carène entiere comme homogène: mais il nous ſeroit difficile de faire autrement, & d'avoir égard à la diſtribution particuliere de la charge, afin de diſtinguer le centre de gravité de la carène de celui de tout le Vaiſſeau. C'eſt par cette raiſon que nous avons recommandé ſi ſou-

vent, & que nous le faisons encore ici, d'examiner toutes les parties en détail ; d'avoir égard à la distribution particuliere de la charge, & de voir en mettant tout à l'épreuve du calcul, jusqu'à quel point le Navire possedera effectivement chaque proprieté. Enfin si nous faisons changer l'axe CF du cone entier, le moment changera de même que l'impulsion que reçoit la surface totale du tronc, & pour avoir l'un & l'autre changement, il n'y a qu'à différentier l'une & l'autre expression. La différentielle de l'impulsion $\frac{a^2b^2 + b^4 - 2ab^2s + b^2s^2}{b^2 + s^2}$ est $\frac{2ab^2s^2ds - 2a^2b^2sds - 2ab^4ds}{\overline{b^2+s^2}^2}$, & celle du moment $M + ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} - \frac{a^4b^3}{4s^3}$ est $\frac{3a^2b^3ds}{2s^2} - \frac{2a^3b^3ds}{s^3} + \frac{3a^4b^3ds}{4s^4}$. Fig. 106.

VII.

Mais on ne doit pas changer l'étenduë des voiles dans le même raport que change le moment de la pésanteur du Vaisseau : car la largeur des voiles doit rester la même tant qu'on ne touche point à la plus grande largeur BD de la carène : on ne peut faire varier que leur hauteur, & on ne doit la faire varier sensiblement que comme la racine quarrée du moment de la pésanteur ; parce que comme nous l'avons déja vu ci-devant, l'étenduë des voiles variant selon cette racine quarrée & la hauteur du centre d'effort du vent variant aussi dans la même raison, il se trouve que le moment de l'effort du vent change en même raport que celui de la pésanteur du Navire ; & de cette sorte l'équilibre entre ces deux forces n'est point alteré. Ainsi au lieu de comparer le moment $M + ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} - \frac{a^4b^3}{4s^3}$ à sa différentielle entiere, il ne faut le comparer qu'à la moitié $\frac{3a^2b^3ds}{4s^2} - \frac{a^3b^3ds}{s^3} + \frac{3a^4b^3ds}{8s^4}$, pour avoir le raport selon lequel doit changer l'étenduë des voiles. Il est évident d'un

Fig. 106. autre côté que pour avoir le tronc du cone le plus avantageux pour former la prouë, nous n'avons qu'à nous arrêter à celui qui, lorſqu'on le change un peu, ou lorſqu'on fait varier la diſtance s à laquelle iroient ſe rencontrer les côtés, on ne fait pas plus augmenter la réſiſtance de l'eau qu'on ne peut augmenter l'étenduë des voiles. Car alors l'avantage ſera le même, ou ſa differentielle ſera nulle; & par conſequent l'avantage ſera un *maximum.* C'eſt-à-dire que nous n'avons qu'à faire cette analogie $\frac{a^2b^2 + b^4 - 2ab^2s + b^2s^2}{b^2 + s^2} \mid \frac{2ab^2s^2ds - 2a^2b^2sds - 2ab^4ds}{\overline{b^2+s^2}^2} \parallel M + ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} - \frac{a^4b^3}{4s^3} \mid \frac{3a^2b^3ds}{4s^2} - \frac{a^3b^3ds}{s^3} + \frac{3a^4b^3ds}{8s^4}$; ou cette autre qui eſt la même, $\overline{a^2 + b^2 - 2as + s^2} \times \overline{b^2 + s^2} \mid 2s^2 - 2as - 2b^2 \parallel M + ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} - \frac{a^4b^3}{4s^3} \mid \frac{3ab^3}{4s^2} - \frac{a\,b^3}{s^3} + \frac{2a^3b^4}{8s^4}$; & que ſi nous la reduiſons en équation, nous n'aurons plus qu'à en tirer la valeur de s, & nous obtiendrons la prouë formée en tronc de cone; non pas celle qui reçoit la moindre impulſion poſſible de la part de l'eau, ou celle qui rend le Vaiſſeau plus propre à porter une plus grande quantité de voiles; mais celle qui concilie enſemble, autant qu'il ſe peut, ces deux divers avantages, & qui eſt par conſéquent préférable à toutes les autres, eu égard à la promptitude de la marche.

VIII.

L'équation dont nous venons de parler ne fait qu'indiquer le tronc de cone le plus avantageux: mais ſi après avoir cherché la valeur de s pour la baſe BED & pour la ſaillie CA, nous la cherchons pour la baſe *bed*, & la ſaillie *c*A; ou ſi nous perfectionnons les troncs des cones de plus en plus, à-peu-près comme nous l'avons fait dans le ſecond article du Chapitre II. nous pourrons regarder s comme la ſoutangente de la ligne courbe qui doit former le conoïde le plus avantageux, & il ne nous reſtera donc

plus pour résoudre entierement le Problême, qu'à avoir re- Fig. 106.
cours à la méthode inverse des tangentes; après avoir mis x à la place de a qui marque les parties AC, ou Ac de l'axe; y à la place de b qui marque les ordonnées CD ou Cd, & $\frac{ydx}{dy}$ à la place de s. Suposé qu'on regarde le moment M comme infini, tous les termes de l'équation qui ne seront pas multipliés par M deviendront comme nuls; l'équation se réduira à $2Ms^2 - 2Mas - 2Mb^2 = o$, ou à $s^2 = as + b^2$, & la revêtissant des expressions variables que nous venons de spécifier, nous la changerons en $\frac{y^2 dx^2}{dy^2} = \frac{xydx}{dy} + y^2$, ou en $ydy^2 = ydx^2 - xdxdy$ qui étant la même que celle que nous avons trouvée dans le Chapitre que nous venons de citer, confirme ce que nous avons dit vers le commencement de celui-ci. Si on veut trouver l'autre conoïde qui sert de limite à la plus grande courbure de la proue; mais une limite assez éloignée, principalement vers le sommet, il n'y aura qu'à suposer $M = o$. On trouvera une équation dans laquelle les dx & les dy multipliées ensemble s'éleveront jusqu'à la sixiéme puissance: mais comme les x & les y s'éleveront aussi conjointement dans tous les termes au même degré, il sera toujours facile, avec un peu de travail, de séparer les variables, & de résoudre l'équation, en employant la quadrature des courbes, suposée connuë.

IX.

Dans les cas ordinaires & actuels le moment M ne sera ni infiniment grand ni infiniment petit; & il doit nécessairement contenir une partie constante. Tout ce qu'on peut faire de mieux, ce me semble vû les circonstances, c'est de suposer que M au lieu de désigner le seul moment de la poupe, indique celui du Vaisseau entier; c'est-à-dire celui de la poupe & de la proue jointes ensemble, ou la stabilité totale. On sera toujours en droit de traiter M comme constante; & alors la proportion établie ci-devant se réduira à $\overline{a^2 + b^2 - 2as + s^2} \times \overline{b^2 + s^2} \,|\, 2s^2 - 2as$

Fig. 106. $-2b^{2} \,\|\, \mathrm{M} \,|\, \frac{3ab^{3}}{4s^{2}} - \frac{a^{2}b^{3}}{s^{3}} + \frac{3a^{3}b^{3}}{8s^{4}}$; & on aura l'équation $2\mathrm{M}s^{2} - 2\mathrm{M}as - 2\mathrm{M}b^{2} = \frac{1}{4}a^{2}b^{3}s^{2} - \frac{5}{2}a^{3}b^{3}s + \frac{25}{8}a^{4}b^{3} + \frac{3}{2}a^{2}b^{5} - \frac{7a^{3}b^{5}}{2s} - \frac{7a^{5}b^{3}}{4s} + \frac{3a^{2}b^{7}}{4s^{2}} + \frac{7a\,b^{5}}{2s^{2}} + \frac{3a^{6}b^{3}}{8s^{2}} - \frac{7a^{5}b^{5}}{4s^{3}} - \frac{a^{3}b^{7}}{s^{3}} + \frac{3a^{4}b^{7}}{8s^{4}} + \frac{3a^{6}b^{5}}{8s^{4}}$ qui se change en $2\mathrm{M}y^{2}dx^{6} - 2\mathrm{M}xydydx^{5} - 2\mathrm{M}y^{2}dy^{2}dx^{4} = \frac{1}{4}x^{2}y^{4}dx^{6} - \frac{5}{2}x^{3}y^{3}dydx^{5} + \frac{25}{8}xy^{2}dy^{2}dx^{4} + \frac{3}{2}x^{2}y^{4}dy^{2}dx^{4} - \frac{7}{2}x^{3}y^{3}dy^{3}dx^{3} - \frac{7}{4}x^{5}ydy^{3}dx^{3} + \frac{3}{4}x^{2}y^{4}dy^{4}dx^{2} + \frac{7}{2}x^{4}y^{2}dx^{2}dy^{4} + \frac{3}{8}x^{6}dy^{4}dx^{2} - \frac{7}{4}x^{6}ydy^{5}dx - x^{3}y^{3}dy^{5}dx + \frac{3}{8}x^{4}y^{2}dy^{6} + \frac{3}{8}x^{6}dy^{6}$. Mais on voit assez que c'est là une équation à resoudre par les séries ou par quelqu'autre espece d'aproximation.

X.

Aussi-tôt qu'on est obligé de prendre ce parti, on sçait ce qu'il faut faire, & on est toujours sur du succès. Cependant j'avouerai ingenument qu'avant de vouloir me livrer à ce travail aussi long que rebutant, j'ai cru qu'il étoit à propos de voir s'il ne m'étoit pas permis de m'en dispenser. Je me suis arrêté à l'équation $2\mathrm{M}s^{2} - 2\mathrm{M}as - 2\mathrm{M}b^{2} = \frac{1}{4}a^{2}b^{3}s^{2} -$ &c. qui n'appartient encore qu'au simple tronc de cone le plus avantageux & qui nous apprend la longueur s des soutangentes de la courbe qui forme le conoïde. J'ai suposé le moment M le moindre que j'ai pû, vû les dimensions que doit avoir le Vaisseau, afin de rendre la courbure de la prouë encore plus considerable ; & malgré cela, si j'ai trouvé comme je le devois, la soutangente s plus grande que dans le conoïde qui éprouve la moindre résistance, j'ai toujours trouvé la différence assez petite, pour qu'on pût n'y avoir que peu d'égard dans la pratique. Ainsi quoi qu'il soit vrai que ce ne soit pas la prouë conoïdale qui éprouve la moindre résistance de la part du milieu, qui fasse singler le Navire avec la plus grande vitesse possible, parce qu'en donnant un peu plus de courbure ou de convexité au conoïde, sa plus grande pésanteur & la plus grande largeur font que le Vaisseau sou-

tient enſuite mieux la voile, & que l'impulſion du vent ſe trouve plus augmentée à proportion que la réſiſtance de l'eau; il y a cependant ſi peu de différence entre les deux figures, qu'on ne doit preſque jamais faire difficulté de ſe ſervir de l'une à la place de l'autre. Fig. 108.

Les Lecteurs ſans s'engager dans un calcul trop long, peuvent ſe convaincre de la vérité de ce que nous avançons ici. Supoſé que la demie largeur du Navire ſoit repreſentée par 1, pendant que la longueur de la prouë le ſoit par 3; ſi on cherche par la conſtruction de M. Newton; à quelle diſtance CF les côtés du tronc de cone, doivent aller ſe rencontrer pour que le tronc reçoive la moindre impulſion poſſible, on trouvera que CF eſt à très-peu près de $3\frac{1}{10}$; & c'eſt donc là pour le point où l'ordonnée eſt 1 & l'abſciſſe 3, la longueur de la ſoutangente du conoïde que nous regardons comme celui de la moindre réſiſtance. Mais ſi on fait entrer maintenant la conſidération du moment M de la péſanteur du Navire & qu'on le ſupoſe $=\frac{1}{2}$, on verra par notre équation que la ſoutangente s du nouveau conoïde, ſera effectivement plus grande que $3\frac{1}{10}$, mais qu'elle ſera conſiderablement moindre que $3\frac{1}{2}$. Il ſera facile d'en déterminer la juſte valeur, & d'en chercher d'autres, ſi on le veut, pour d'autres ſupoſitions d'abſciſſes & d'ordonnées.

CHAPITRE VI.

Détermination de la figure de la prouë de la plus grande vitesse, lors qu'elle est terminée par un simple trait horisontal.

I.

INDÉPENDAMMENT des tentatives que nous venons de nous permettre, il n'est pas difficile de résoudre dans toute sa complication, le Problême qui nous occupe. Cependant nous nous contenterons d'insister sur le cas le plus
Fig. 118. simple, en supposant que la prouë BAB (Fig. 118.) est terminée par un seul trait horisontal dont les deux parties AB, AB sont parfaitement égales de part & d'autre de l'axe AC; ou si on veut que cette prouë soit terminée par une surface, nous suposerons que c'est par une surface verticale de même hauteur élevée perpendiculairement sur le plan de la courbe BAB. La figure qui fend l'eau avec le plus de facilité étant dans ce cas particulier terminée par deux lignes droites ou deux plans AB, AB qui font un angle en A, nous jugerons plus aisément de l'effet que produira la condition que nous ajoutons actuellement; puisqu'il faudra lui attribuer toute la courbure que prendront les deux côtés. Nommant x les parties variables AE, AG de l'axe AC, & y les ordonnées correspondantes ED & GF, &c. on aura dx pour les parties infiniment petites de l'axe, & dy pour les différentielles des ordonnées; & si un fluide vient rencontrer la courbe parallelement à l'axe, l'impulsion directe sur la petite partie DH ou HF de la courbe, sera exprimée par $\frac{dy^3}{dy^2 + dx}$ conformement à ce que nous avons vû dans le Chapitre IV. de la premiere Section; avec cette seule différence que nous suposions alors que le sinus total étoit désigné par n, au lieu que nous le représentons

representons actuellement par l'unité. L'expression $\frac{dy^3}{dy^2+dx^2}$ Fig. 118.
convient à l'une ou à l'autre petite partie, selon que dx & dy représentent DI & IH, ou HL & LF : & si nous supposons que les deux petits côtés DH & HF changent de situation, & prennent la disposition DhF, en faisant changer dx de la petite quantité H$h = ddx$, & en rendant les dy, HI, ou LF invariables ; l'impulsion sur une des petites parties de la courbe deviendra plus grande, en même tems qu'elle deviendra plus petite sur l'autre ; & le changement sur chacune sera designé par $\frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ qui se trouve en différentiant $\frac{dy^3}{dy^2+dx^2}$. Mais puisqu'un de ces changemens se fait en plus, & l'autre est moins, le changement total que souffre l'impulsion à laquelle sont sujettes les deux parties DH, HF conjointement, sera représenté par $\frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$, expression dans l'un des termes de laquelle la différentielle dx désigne DI, pendant que dans l'autre elle désigne HL.

II.

En même tems que ce changement se fera dans l'impulsion, il s'en fera un aussi dans le moment de la pesanteur de la carène ou dans la force qu'a le Navire pour porter la voile. Ce moment que nous nommerons M, comme dans le Chapitre précédent, est le produit de la pesanteur totale p du Navire par la quantité dont son centre de gravité, que nous confondons ici toujours avec le centre de gravité de la carène, est au-dessous du métacentre ; & sera donc $= \frac{2}{3}\int y^3dx$. Cela supposé, si nous prolongeons les ordonnées ED, KH, &c. jusqu'aux points M, N, &c. de maniere que les lignes EM, KN, &c. représentent les cubes des ordonnées, nous formerons une nouvelle courbe AMP, dont les aires comme AEM,

Fig. 118. AGP, &c. représenteront les intégrales $\int y^3 dx$, & il suffira par conséquent de prendre les deux tiers de ces aires, pour avoir les momens particuliers des différentes portions correspondantes du Navire, lesquels forment tous ensemble le moment ou la stabilité M. Mais lorsqu'on change la disposition des deux petits côtés DH, HF de la prouë & qu'on les place en D*h*F, la courbe AP des momens change aussi de disposition; & les petits côtés MN, NP se plaçant en M*n*P, le moment de la pesanteur du Vaisseau augmente, non pas des deux petits triangles MN*n*, NP*n*, mais des deux tiers de leur aire; puisque ce ne sont que les deux tiers de l'aire entiere que renferme la courbe AMP, qui représentent le moment total. L'étenduë des deux petits triangles est égale à $3y^2dy \times ddx$ produit de $Nn = ddx$ qui leur sert de base, par la hauteur NO ou PQ, qui est égale à $3y^2dy$. Ainsi lorsqu'on change la disposition des deux petits côtés DH, HF de la prouë, le moment total M de la pesanteur du Navire augmente de la petite quantité $2y^2dyddx$, qui est les deux tiers de l'étenduë $3y^2dyddx$ des deux petits triangles NM*n*, NP*n*; & ce changement se fait en même tems que celui $\frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ sur l'impulsion totale que souffre la prouë. Il faut après cela faire attention que le premier de ces changemens n'influë pas immédiatement sur le sillage comme le second; puisque la petite étenduë qu'on peut donner de plus à la surface des voiles en conséquence de la plus grande force qu'a le Navire pour soutenir l'effort du vent, ne repond pas au changement $2y^2dyddx$ de la stabilité M, mais seulement à sa moitié y^2dyddx, comme nous l'avons marqué dans l'autre Chapitre. Or il suit de là que les deux différentes dispositions ou DHF ou D*h*F des deux petits côtés consécutifs DH, & HF de la courbe, seront parfaitement équivalentes, aussi-tôt que le raport de $\frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ à l'impulsion totale de l'eau sur la prouë que nous nomme-

Digitized by Google

rons I, sera exactement le même que celui de y^2dyddx au moment total M. Il n'importe en effet que dans la seconde disposition D*h*F, l'impulsion ou la résistance I de l'eau soit plus grande de la petite quantité $\frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ — &c. puisque l'effet qu'elle pourra produire sur le sillage, sera détruit sur le champ par la plus grande quantité de voiles que pourra porter le Navire, laquelle sera augmentée dans le raport de M à y^2dyddx. Mais lorsque les deux dispositions DHF & D*h*F sont équivalentes, ou que l'une n'a aucun avantage sur l'autre, la différentielle de l'avantage est alors nulle, & on a par conséquent atteint le terme du *maximum* qu'on se proposoit d'obtenir. Fig. 118.

III.

Ainsi tout consiste à introduire dans tout le cours de la courbe cette proportion; M | y^2dyddx || I | $\frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$, ou à rendre $\frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ continuellement égale à $\frac{Iy^2dyddx}{M}$; ou ce qui revient au même, à faire $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} = \frac{Iy^2dy}{M}$; car ddx est exactement la même dans les deux quantités. Pour le dire encore en d'autres termes, il faut que $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ qui appartient à chaque petit côté de la courbe, surpasse toujours la quantité $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ qui apartient au petit côté suivant, d'une quantité $\frac{Iy^2dy}{M}$. Mais cet excès des quantités $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ les unes sur les autres, est à proprement parler leur différentielle; & puisque la différentielle de $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ doit être

Fig. 118. égale dans tous les points de la courbe à $\frac{Iy^2dy}{M}$, il faut que cette quantité même $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ soit continuellement égale à $\frac{Iy^3}{3M}$ qui est l'intégrale de $\frac{Iy^2dy}{M}$, ou à $c-\frac{Iy^3}{3M}$, lorsque c est une quantité indéterminée constante. C'est-à-dire donc, que nous aurons $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}=\frac{Iy^3}{3M}$, ou $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}=c-\frac{Iy^3}{3M}$ pour l'équation constitutive du Problême, ou pour l'équation en premieres différences de la courbe qui a la proprieté avec ses diverses parties, de recevoir la moindre impulsion possible de la part du milieu dans lequel elle se meut, & de donner en même tems le plus de force au Navire pour porter la voile. La quantité $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ va en augmentant, lorsque *dx* étant d'abord nulle, croît jusqu'à parvenir à une certaine grandeur : c'est pourquoi on peut supposer $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}=\frac{Iy^3}{3M}$, ce qui donne une courbe, qui partant de son sommet A perpendiculairement à l'axe, devient ensuite oblique, mais n'a qu'un cours très-limité. Mais lors qu'on fait croître davantage *dx*, la quantité $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ qui étoit à son *maximum*, va en diminuant, & c'est alors qu'on a l'équation $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}=c-\frac{I}{3M}y^3$ à laquelle nous nous arrêtons.

IV.

Il n'est donc plus question que de resoudre cette équation $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}=c-\frac{Iy^3}{3M}$; & nous y réussirons en employant l'expédient auquel nous avons déja eu recours plusieurs

fois. Prenant une quantité conſtante a, & une nouvelle variable z qui ſoit telle que $dx = \frac{zdy}{a}$, nous introduirons cette valeur de dx dans l'équation ; ce qui nous la changera en $\frac{2zdy^4}{a} = cdy^4 \times \overline{1 + \frac{z^2}{a^2}}^{2} - \frac{Iy^3}{3M} \times \overline{1 + \frac{z^2}{a^2}}^{2}$, dont on tire déja $\frac{I}{3M} \times y^3 = c - \frac{2a^3z}{\overline{a^2+z^2}^{2}}$ & $y = \overline{\frac{3M}{I} \times c - \frac{2a^3z}{\overline{a^2+z^2}^{2}}}^{\frac{1}{3}}$. Je différentie cette derniere équation, & j'ai $dy = \sqrt[3]{\frac{3M}{I}} \times \frac{2a^3z^2dz - \frac{2}{3}a^5dz}{\overline{a^2+z^2}^{\frac{5}{3}} \times \overline{c \times \overline{a^2+z^2}^{2} - 2a^3z}^{\frac{2}{3}}}$ qui m'aprend, lorſque je ſupoſe $\frac{2a^3z^2dz - \frac{2}{3}a^5dz}{\overline{a^2+z^2}^{\frac{5}{3}} \times \overline{c \times \overline{a^2+z^2}^{2} - 2a^3z}^{\frac{2}{3}}} = 0$, qu'on a la moindre valeur de y, auſſi-tôt que $3z^2 = a^2$ ou que $z = a\sqrt{\frac{1}{3}}$; & c'eſt préciſément dans cette circonſtance que la quantité $\frac{2dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^{2}}$ eſt un *maximum*. Mais enfin, introduiſant la valeur de dy dans $dx = \frac{zdy}{a}$, il vient $dx = \sqrt[3]{\frac{3M}{I}} \times \frac{2a^2z^3dz - \frac{2}{3}a^4zdz}{\overline{a^2+z^2}^{\frac{5}{3}} \times \overline{c \times \overline{a^2+z^2}^{2} - 2a^3z}^{\frac{2}{3}}}$. Ainſi nous avons la relation de y & de x à une troiſiéme grandeur z, & le Problême eſt entierement reſolu.

Fig. 118.

V.

On trouvera dans la Table ci-jointe, non-ſeulement les dimenſions de la courbe entiere ARB, mais auſſi celle de trois courbes partiales comme RB (Fig. 119.) qui au lieu de commencer au point A où $z = a\sqrt{\frac{1}{3}}$, commencent dans le point R où z eſt égale ou à $2a$, ou à $3a$, ou à $4a$. Ces courbes partiales ſont diſtinctes de la totale ou en ſont d'autres eſpeces : car elles ne ſont pas ſemblables aux parties de la totale ; & la proprieté qu'elles ont ne ſubſiſte auſſi que par raport à leur axe particulier RS. On ſe ſervira de ces courbes partiales lorſqu'on voudra rendre la

Fig. 118. & 119. prouë plus aiguë ; car la premiere courbe AB forme avec son axe en A un angle de 60 degrés ; ce qui rend de 120 degrés l'angle de l'extremité de la prouë, & outre cela elle renferme un espace qui est très-large par raport à sa longueur ; puisque sa plus grande ordonnée BC est à sa plus grande abscisse AC à peu près comme 866 est à 1014. J'ai calculé les dimensions de toutes ces courbes en 1000^{mes} parties de l'unité, après avoir suposé $a = 1$; & j'ai joint aussi les valeurs des intégrales $\int \frac{dy^3}{dy^2 + dx^2}$ & $\frac{1}{3} \int y^3 dx$, la premiere desquelles marque l'impulsion I à laquelle chaque partie sensible de la courbe est sujette à commencer aux points A ou R qui leur servent de sommet, & la seconde marque le moment ou la stabilité particuliere dont est capable en même tems l'espace ou la solidité de la carène qui répond à cette partie. Ce sont ces quantités, comme nous le montrerons plus bas, qui avec la longueur & la plus grande largeur qu'on veut donner à la prouë, reglent le choix qu'on doit faire ou entre les lignes courbes, ou entre leurs diverses parties ; leur propriété étant principalement attachée au raport qu'il y a entre M & I.

Ces lignes courbes au surplus peuvent non-seulement servir à former les deux flancs de la prouë, lorsque la base qu'il s'agit de garantir du choc est un rectangle ; mais aussi lorsque cette base a plusieurs autres formes ; lorsqu'elle sera faite, par exemple, en trapeze, comme nous avons trouvé qu'elle devroit l'être. Au lieu que les deux flancs ABVO & EDVP de la figure 115 étoient formés par des plans, lorsque nous voulions donner à la prouë une des figures qui éprouvent le moins de résistance de la part de l'eau, il faudroit leur faire imiter dans leur courbure une de nos lignes courbes, & on fermeroit l'ouverture triangulaire OVP en la couvrant d'un espece de conoïde OVZP dont il est aisé de trouver la figure. La méthode que nous venons de suivre, laquelle seroit propre à résoudre des difficultés incomparablement plus grandes,

Digitized by Google

donne la formule $y = \sqrt{\frac{6M}{I} \times \frac{a^3 z}{(a^2+z^2)^2}}$ pour les ordonnées Fig. 118. & 119.

du conoïde dont il s'agit, & $x = \sqrt{\frac{6M}{I}} \int \frac{\frac{7}{2} a^{\frac{5}{2}} z^{\frac{1}{2}} dz - \frac{1}{2} a^{\frac{1}{2}} z^{\frac{5}{2}} dz}{(a^2+z^2)^2}$

pour les abſciſſes ou parties de l'axe à commencer au ſommet Z. Ce n'eſt pas ſans raiſon que nous parlons avantageuſement de la méthode que nous venons d'employer : elle donnera ſans peine la ſolution de la plûpart de ces Problêmes fameux qui ont ſi fort occupé les Mathématiciens ſur les iſopérimétres, & ſur d'autres ſujets où il s'agiſſoit de *maximum* ou de *minimum* qu'on compliquoit avec d'autres conditions.

TABLE

Des dimenſions des prouës curvilignes de la plus grande viteſſe.

Premiere Figure.				Seconde Figure.				Troiſiéme Figure.				Quatriéme Figure.			
Abſciſ. ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulſions.	Momens ou ſtabilités.	Abſciſ. ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulſions.	Momens ou ſtabilités.	Abſciſ. ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulſions.	Momens ou ſtabilités.	Abſciſ. ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulſions.	Momens ou ſtabilités.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	203	146	0	356	169	31	0	200	65	7	0	125	31	2	0
399	531	333	9	712	335	61	4	400	129	13	0	250	62	4	0
627	714	406	46	871	402	71	10	703	225	23	1	500	122	7	0
758	788	425	83	1042	464	78	19	861	272	27	3	671	163	9	$\frac{1}{2}$
884	838	432	128	1136	493	81	26	1035	318	30	6	827	198	10	1
936	853	433	149	1200	510	82	31	1100	338	31	8	900	214	11	2
963	859	433	182	1272	526	84	38	1205	356	32	10	999	234	12	2
977	862	433	188	1310	533	84	42	1288	371	32	13	1174	266	14	4
987	863	433	193	1330	536	84	44	1333	379	33	14	1267	281	14	5
1001	865	433	199	1365	541	84	47	1401	387	33	17	1380	295	14	7
1014	866	433	204	1399	543	84	51	1466	391	33	19	1490	302	14	9

On doit enfin remarquer que puiſque le raport $\sqrt{\frac{3M}{I}}$ multiplie également la valeur des abſciſſes & des ordon-

Fig. 118. & 119. nées de nos lignes courbes, il doit les faire augmenter ou diminuer, selon qu'il est plus ou moins grand; & qu'il sert par conséquent comme de parametre. Mais si les lignes courbes sont tracées dans la suposition de $\sqrt[3]{\frac{3M}{I}} = 1$, suposition pour laquelle on a construit la Table, on aura $3M = I$ ou $M = \frac{1}{3}I$; ce qui nous apprend que le moment non pas particulier de la prouë, mais le moment total M de la pesanteur du Navire, doit être égal au tiers de l'impulsion I; & après cela il est très-facile de distinguer les diverses parties des courbes qu'on doit employer. Comme nous n'avons restraint le moment total M à aucune grandeur particuliere, nous avons donné au Problême une généralité dont il ne jouit pas réellement; & cela est cause que les courbes prises dans toute leur étenduë ne sont pas applicables aux cas ordinaires & actuels. Elles ne servent dans toute leur longueur, ou ce qui revient au même, on ne doit donner toute leur courbure aux flancs de la prouë, que lorsque le moment total M du Vaisseau est très-petit & dans la suposition impossible qu'il est moindre que le moment particulier de la prouë: l'impulsion, par exemple, que souffre la premiere courbe entiere, étant exprimée par 433, le moment total M de la pesanteur du Navire le doit être par $144\frac{1}{3}$; au lieu que le moment particulier de la prouë seule est 204. Mais si on employe les seules parties comme AR (Fig. 118.) ou RT (Fig. 119.) le moment particulier de la prouë qui diminuë beaucoup plus subitement que l'impulsion, se trouvera bien-tôt très-petit par raport à cette impulsion; & il n'impliquera plus contradiction que le moment M de la pesanteur totale en soit le tiers. C'est sans doute un cas trop extrême pour qu'il soit jamais admis, que le Vaisseau soit réduit à la seule partie antérieure de sa carène sans avoir de poupe. Alors les momens marqués dans la Table seroient les stabilités mêmes M du Navire; & on reconnoîtroit donc la partie des lignes courbes qu'il faudroit employer, en choisissant celles pour lesquelles ce moment est le tiers de l'impulsion.

Digitized by Google

pulſion. Telle eſt à peu près la partie de la premiere courbe qui a *936* pour abſciſſes & *853* pour ordonnée; telle eſt auſſi à peu près la partie de la ſeconde courbe qui a *1136* pour abſciſſe & *493* pour ordonnée, &c. Les deux flancs ſe trouveroient déja n'avoir que très-peu de courbure, & l'arrête dont nous avons parlé pluſieurs fois qui doit diſtinguer la prouë de la poupe & qui paroiſſoit comme détruite par la partie des lignes courbes qui eſt parallele en B à l'axe, commenceroit à ſe reproduire en R ou en T. Mais qu'on conſidere les Vaiſſeaux dans leur état actuel, le moment total M du Navire RTXT (Fig. *119.*) ſera au moins double de celui de la prouë; & puiſque ce moment total ne doit être toujours que le tiers de l'impulſion I, le moment particulier de la prouë que marque la Table, n'en ſera au plus que la ſixiéme partie. Ainſi il faudra prendre pour modele de la partie antérieure de la carène, des portions beaucoup plus petites RT de nos lignes courbes, & qui approcheront encore plus d'être droites. Ce n'eſt gueres que dans la derniere courbe de la Table qu'on peut chercher ces modeles; parce que les autres rendroient la prouë trop obtuſe; on peut emprunter par exemple la partie qui a ſon abſciſſe RV de *999* & ſa plus grande demie largeur VT de *234*. Mais il eſt certain que ſi les flancs conſervent encore après cela quelque courbure, on ſera très en droit de la négliger: car elle ne ſera pas de la cent cinquantiéme partie de la longueur des côtés RT. Nouvelle confirmation que la figure de la prouë *de la plus grande viteſſe*, ne differe toujours que très-peu de la figure *de la moindre réſiſtance.* Fig. 118. & 119.

VII.

C'eſt ce qui réſulte de la ſolution géométrique du Problême & ce qui ſe concilie avec le phyſique ſur lequel nous avons inſiſté dans le Chapitre précédent, que plus la péſanteur totale du Vaiſſeau eſt grande par raport à celle de la partie anterieure de la carène, moins il y a d'effet à atten-

Digitized by Google

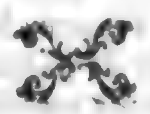
dre sur la force du Navire pour porter la voile, lorsqu'on fait quelque léger renflement à cette partie, & qu'il y a donc moins d'utilité à alterer la figure qui fend l'eau avec le plus de facilité. Le renflement de la carène par l'avant, quoique léger, fait augmenter la résistance & nuit immédiatement à la promptitude du sillage: au lieu que si l'augmentation produite en même tems dans la solidité, est considerable par raport à la prouë, elle l'est environ deux fois moins par raport à tout le Navire; & il n'est outre cela encore permis d'augmenter la hauteur des voiles que d'une quantité deux fois plus petite à proportion que n'a augmenté la stabilité. Ainsi il n'est pas étonnant que la convexité des deux flancs aide moins au sillage par ce second chef qu'elle n'y nuit par l'autre, & c'est par cette raison qu'on peut toujours dans la pratique donner à la prouë la figure qui fend l'eau avec le plus de facilité. Au reste nous devons nous applaudir de n'être point obligés de renoncer à cette derniere figure. Il est vrai qu'il n'y auroit rien à perdre du côté du sillage, & ce seroit tout le contraire si on se servoit de l'autre, & que la différence fut considerable; mais il y auroit une vraie perte, & qui seroit irréparable sur la proprieté que doit avoir le Vaisseau de *pincer* le vent. On se souvient que l'impulsion latérale, selon le sens perpendiculaire à la quille, devient nécessairement plus petite aussi-tôt que l'impulsion dans le sens direct est plus grande; or le Navire moins soutenu contre l'effort du vent dans les routes obliques dériveroit alors davantage*. Qu'on donne au contraire à la prouë la figure qui reçoit la moindre impulsion de la part de l'eau dans le sens de l'axe, l'impulsion relative, selon la détermination latérale, deviendra un *plus grand* dans les routes obliques; une proprieté apporte nécessairement l'autre comme nous l'avons montré, & la dérive deviendra un *minimum*.

* Voyez la fin du Chap. 8. de la 1re. Section de ce 3e. Livre.

Tout nous invite donc à préférer cette premiere forme dans l'Architecture navale; non pas précisément parce qu'elle est la figure *de la moindre résistance*, puisque cette proprieté est absolument inutile, aussi-tôt qu'elle ne procure

pas par elle-même la promptitude de la navigation; mais parce qu'elle est la figure *de la moindre dérive*. Nous serons ensuite sûrs que le Navire suivra le plus qu'il sera possible dans son mouvement la direction de son axe; sans que cette bonne qualité que nous eussions achetée volontiers par la perte d'une partie considerable de la promptitude du sillage, cause quelque préjudice sensible aux autres avantages essentiels qu'on se propose dans la Marine. Nous ne devons pas dissimuler que cette figure nous jette dans quelque inconvenient: elle ne nous donne pas toujours assez de champ pour disposer avec commodité les voiles dans les routes obliques; parce qu'elle peut nous obliger de mettre ces voiles à trop peu de distance de l'extremité de la proue; ce qui sera cause qu'on ne pourra quelquefois profiter que difficilement de toute la force qu'a le Navire pour les soutenir. On ne doit cependant pas juger de la difficulté par la forme étroite que prend ici la proue: car il n'est toujours question dans les Recherches présentes que de la seule figure de la partie qui entre dans l'eau; & rien n'empêche d'élargir considerablement la partie qui est hors de l'eau, pourvû qu'on soit attentif à en diminuer le poids, en même tems qu'on diminuë le plus qu'il est possible la surface qu'elle offre au vent.

Il nous reste pour ne rien laisser d'indécis dans la construction des Navires destinés à bien marcher, de marquer la figure de la poupe. Si cette derniere partie ne contribuë pas tant que celle de l'avant à la rapidité du sillage, il est cependant certain qu'elle y contribuë. C'est pourquoi nous ne pouvons pas nous dispenser de l'examiner avec quelque soin, quoi qu'il ne soit pas nécessaire de nous livrer à une discussion aussi longue que la précédente.



CHAPITRE VII.

De la figure qu'il faut donner à toute la partie postérieure de la carène lorsqu'elle est terminée par un simple trait horisontal, & de la maniere de s'en servir pour former des Frégates.

I.

S'IL ne s'agissoit lorsqu'on forme la poupe que de travailler à augmenter la facilité que doit avoir l'eau à venir frapper le gouvernail, on ne seroit point assujetti à donner à la carène du côté de l'arriere une forme trop précise; car elles seroient presque toutes également bonnes. Mais à mesure que le Navire quitte une place, l'eau qui est derriere & qui est pressée par le poids de toute celle qui est au-dessus, tend en exerçant son ressort, à passer dans cette place; & si en donnant une certaine figure à la poupe, on peut faire ensorte que l'eau ait plus de disposition, pour suivre ce mouvement ou cette tendance, il n'y a point de doute qu'on ne doive la préférer. L'eau en venant occuper avec vitesse le vuide que le Navire laisse derriere lui, peut s'y rendre avec assez de promptitude pour chocquer la poupe; & si ce choc ne contribuë pas extrêmement à faire augmenter la rapidité du sillage, il sert au moins toujours à détruire une partie de la résistance que souffre l'avant du Navire par la rencontre de l'eau.

La poussée de l'eau, cette force dont nous nous sommes occupés si long-tems dans le Livre précédent, ne travaille pas plus à faire avancer le Vaisseau d'un côté que de l'autre, de l'avant que de l'arriere, pourvû que le Vaisseau soit de lui-même dans un parfait repos. Mais ce ne doit plus être la même chose aussi-tôt que le Navire se meut; la poussée cesse en partie du côté de l'arriere, puisque le

Navire en fuyant, pour ainsi dire, se soustrait à l'action de l'eau qui s'appuyoit contre sa poupe, au lieu que c'est tout le contraire du côté de l'avant; car la poussée de l'eau à laquelle est sujette la partie antérieure, doit se joindre au choc même de l'eau, qui naît du mouvement du sillage. Il est donc évident que si on ne veut pas regarder toute la poussée de l'eau du côté de la prouë comme un obstacle à la vitesse du Navire, il faut faire en sorte que l'action de l'eau sur la poupe soit un *maximum*, afin qu'elle tienne lieu le plus qu'il se pourra de la poussée même qu'éprouvoit la poupe, lorsque le Navire étoit dans un parfait repos. Il seroit facile de se jetter ici dans une Physique très-contestable: le sujet est tel qu'il demanderoit, comme on l'a dit au commencement de ce troisiéme Livre, à être éclairci par des expériences faites avec autant d'adresse que de soin; afin de décomposer, pour ainsi dire, la difficulté & d'examiner chaque circonstance à part. Cependant on peut assurer que si la carène étoit terminée par un seul trait horisontal, il suffiroit toujours de la former du côté de la poupe par des lignes droites; & cela indépendamment de la loi selon laquelle se fait l'action de l'eau.

II.

Il est facile de reconnoître cette proprieté de la ligne droite qui reparoît encore ici, & qui peut donc servir à former la poupe, comme on a vu ci-devant qu'elle pouvoit former la prouë. C'est ce qu'on va découvrir par une suite de reflexions qui peuvent servir dans une infinité d'autres rencontres, & par le moyen desquelles on résoudra quelquefois sans peine & d'une premiere vuë plusieurs Problêmes qui paroîtroient d'ailleurs très-difficiles. Imaginons-nous que TXT (Fig. 119.) est la poupe dont VX est l'axe, & X l'extrémité, & représentons par la parallele Yy à l'axe la vitesse du Navire, ou celle avec laquelle la poupe en avançant de x vers X, & de y vers Y &c. se soustrait à l'action de l'eau qui est derriere. Fig. 119.

Fig. 119. On voit assez qu'il se fait une décomposition de cette vitesse; & si on forme par des paralleles & des perpendiculaires à la partie Yd du circuit de la poupe, le rectangle ZYWy qui ait la vitesse absoluë Yy pour diagonale, il est clair que quoique la poupe se meuve de la quantité xX ou yY, la petite partie Yd n'évite l'action de l'eau qu'avec la seule partie de vitesse YZ ou Wy, qui est plus ou moins grande selon que la partie Yd est située plus ou moins obliquement. Tous les points de la poupe qui passe de txy en TXY, parcourent des lignes paralleles xX, yY &c. mais l'eau comprimée avec force dans tous les sens, chargée qu'elle est par le poids de celle qui est au-dessus, doit, pour aller remplir le vuide de TtxTX, avancer tout-à-coup du côté que la compression cesse ou diminue. Ainsi elle ne doit pas avancer selon yY pour aller frapper la poupe en Y, mais selon ZY; & pour sçavoir par conséquent la vitesse relative avec laquelle se fait le choc, il suffit de retrancher de la vitesse absoluë que la compression procure à l'eau, la partie ZY que le sillage rend inutile. La situation oblique de la partie Yd est de cette sorte extrêmement avantageuse; elle est cause que la rapidité de la marche ne fait pas diminuer d'une si grande quantité la vitesse avec laquelle l'eau vient chocquer la poupe: au lieu que si la partie Yd étoit placée en YΔ, ou que la poupe fut terminée par une droite perpendiculaire à l'axe VX, toute la vitesse yY du Navire seroit à retrancher de celle de l'eau, qu'elle absorberoit, peut-être, entiere; & il arriveroit que l'eau ne chocquant du tout point la poupe, n'aideroit en rien.

Puisque le triangle YWy est semblable au petit YΔd, on peut faire cette proportion, Yd | YΔ || yY | Wy; & si on nomme b la vitesse yY du Navire, on aura par conséquent $\frac{Y\Delta}{Yd} \times b$ pour la vitesse partiale Wy qu'il faut soustraire de la vitesse absoluë de l'eau. A l'égard de cette autre vitesse, elle dépend de la compression que cause le poids de l'eau supérieure; elle doit être la même pour toutes les molé-

cules qui sont à une égale profondeur, & on peut donc l'exprimer par une constante c dans le cas que nous examinons actuellement. C'est-à-dire, que la vitesse relative avec laquelle l'eau frape la petite partie Yd est exprimée par $c - \frac{Y\Delta}{Yd} \times b$, qui n'est dépendante, comme on le voit, que des quantités constantes c & b, & de la seule disposition de la petite ligne Yd. Ainsi qu'on s'arrête à cette vitesse, ou qu'on en prenne le quarré ou le cube, ou une fonction quelconque, & qu'on multiplie ensuite par YΔ pour avoir la force de l'impulsion relative qui s'exerçant dans le sens parallele à l'axe, contribuë à la rapidité du sillage, en poussant le Navire vers l'avant, il ne resultera toujours qu'une quantité formée des constantes c & b, & des petites lignes élementaires Yd & YΔ. Fig. 119.

L'impulsion sera exactement la même, quoi qu'on éloigne ou qu'on raproche la petite partie Yd de l'axe VX, & quoi qu'on fasse la même chose à l'égard du sommet X : de sorte que les abscisses x & les ordonnées y ne sont ici d'aucune considération; il n'y a que les seules dx & dy qui modifient actuellement la grandeur de l'effort. Or ce sera la même chose, lorsqu'on considerera une autre partie voisine de Yd; & il est donc clair, que si on prend la différentielle de l'impulsion qu'elles reçoivent conjointement, afin d'en faire un *maximum*, on n'aura toujours qu'une quantité formée des deux constantes c & b & des petites lignes élementaires dx & dy, élevées, il n'importe, à qu'elle puissance, sans le concours d'aucune variable x ou y. Mais il suit de là, que la différentielle égalée à zéro, nous offrira une équation dans laquelle les dx & les dy n'auront toujours entr'elles qu'un raport déterminé & invariable. C'est-à-dire, que les dy ou les petites lignes YΔ étant constantes, les dx ou les Δd le seront également. Les deux lignes TX ont par conséquent dans toutes leurs parties ou dans tout leur cours la même obliquité par raport à l'axe VX; & elles sont donc droites, sans que les diverses loix que les fluides peuvent observer dans leur action, y aportent aucune différence.

III.

Mais quoique les deux côtés de la poupe doivent être toujours des lignes droites, ce n'eſt pas à dire pour cela qu'elles doivent ſe rencontrer en X, & y former un angle : car il peut arriver ici à peu près la même choſe que pour la prouë, lorſqu'elle eſt formée de lignes droites, dont les deux côtés, comme nous l'avons vû dans le premier Chapitre, ne ſe rencontrent pas toujours. Supoſons que la poupe ſoit
Fig. 101. & 101. repréſentée par BE*eb* dans la figure 101 ou dans la figure 102 : ſes deux côtés qui doivent être des lignes droites, comme nous le ſçavons maintenant, ſont repréſentés par BE & *be* ; & pendant qu'elle a AC pour longueur totale ou pour axe, elle eſt terminée par une troiſiéme ligne E*e* perpendiculaire. Il s'agit de décider, ſi on doit augmenter ou diminuer cette largeur E*e*, ou ſi on doit la reduire à rien, en rendant la poupe parfaitement aiguë.

J'exprime par la ligne DB la viteſſe abſoluë du Navire que nous avons déſignée ci-devant par b, & je remarque que la perpendiculaire DF au côté BE de la poupe, ſera la partie qu'il faudra retrancher de la viteſſe abſoluë c avec laquelle l'eau vient rencontrer ce côté. Or ſi on nomme a la plus grande demie largeur CD, & s la quantité DE, dont la poupe, ou plutôt la demie poupe eſt plus étroite à l'extrémité, on aura cette analogie BE $(=\sqrt{b^2+s^2})$ | DE $(=s)$ | DB $(=b)$ | DF $=\frac{bs}{\sqrt{b^2+s^2}}$, & ſi on retranche DF de la viteſſe abſoluë c de l'eau, il viendra $c-\frac{bs}{\sqrt{b^2+s^2}}$ pour la viteſſe avec laquelle elle rencontre effectivement le flanc BE. On employera, ſelon le ſiſtême qu'on voudra embraſſer, ou le quarré de cette viteſſe, ou cette viteſſe même, ainſi que nous l'allons faire ; & ſi au lieu de multiplier par BE, ce qui donneroit l'impulſion abſoluë ſelon la perpendiculaire à ce côté, on ne multiplie que par DE $=s$, on aura l'impulſion relative, qui agiſſant dans le ſens de

Digitized by Google

de l'axe, pousse le Navire vers l'avant. Cette impulsion est $cs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ qu'il faut augmenter de celle que souffre EC, afin d'avoir l'impulsion totale que souffre la moitié entiere de la poupe. Il ne se fait, à l'égard de cette seconde partie, aucune décomposition; l'eau avance avec la vitesse absoluë c, & le Navire fuit avec la vitesse absoluë b; l'excès $c - b$ marque la vitesse avec laquelle l'eau frape le côté EC dont la longueur est $a - s$; & par conséquent l'impulsion est $\overline{c-b} \times \overline{a-s}$. Ajoutant enfin cette quantité avec l'autre, il vient $ac - ab + bs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ pour l'impulsion totale dans le sens de l'axe, laquelle il n'est plus question que de rendre un *maximum*. Fig. 101. & 102.

La différentielle de cette impulsion est $bds - \frac{2bsds}{\sqrt{b^2+s^2}} + \frac{bs^3ds}{\overline{b^2+s^2}^{\frac{3}{2}}}$; & si on l'égale à zéro & qu'on fasse les reductions nécessaires, on aura $2b^2s + s^3 = \overline{b^2+s^2}^{\frac{3}{2}}$, & $s^4 + b^2s^2 = b^4$ dont on tire $s = b\sqrt{-\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{5}{4}}}$; ce qui montre que s ou DE ne dépend point de la largeur de la poupe, mais seulement de sa longueur BD. Suposant cette derniere longueur de 1000 parties, on trouvera que DE est d'environ 786, ce qui rend l'angle DBE d'environ 38 degrés 10′, & l'angle que doivent faire les deux côtés BE, *be*, doit donc être d'environ 76 degrés 20′. Au reste ce Problême de la poupe qui reçoit la plus grande impulsion possible par le reflux de l'eau, a encore cette conformité avec celui de la prouë rectiligne de la moindre résistance, que l'angle de 76 degrés 20′ n'est aussi ici qu'un terme, de la même maniere que l'angle droit en étoit un dans l'autre. Si on examine les cas où la différentielle va en augmentant & en diminuant, on verra que la poupe ne sçauroit être trop aiguë, & que les deux côtés BE & *be* doivent se rencontrer, pourvû qu'ils fassent en c un angle moindre que 76 degrés 20′. Suposé au contraire que la poupe soit

Fig. 101. & 102. trop courte, & que les deux côtés en se rencontrant fassent un angle plus ouvert, il faudra alors s'arrêter à l'angle déterminé, & achever de fermer la poupe par un troisiéme côté E*e* placé perpendiculairement à l'axe.

IV.

Il est clair que la solution précédente doit convenir à toutes les coupes horisontales de la poupe faites à une assez grande profondeur, pour que la vitesse absoluë *c* de l'eau surpasse celle *b* du Navire. La vitesse *c* est sensiblement proportionelle aux racines quarrées des profondeurs, comme on l'aprend en Hydrostatique; elle est à peu près la même que celle qu'acquerroit l'eau en tombant d'une hauteur égale à cette profondeur. Ainsi à 13 ou 14 pieds d'enfoncement, elle a une vitesse *c* propre à parcourir 27 ou 28 pieds en une seconde; elle a une vitesse double de celle du Navire, lorsqu'il fait environ trois lieuës par heure & à proportion 14 pieds par seconde. Il faut donc s'aprocher considérablement de la surface de l'eau & s'arrêter seulement à trois pieds ou trois pieds & demi de profondeur, pour trouver l'endroit où l'eau n'atteint qu'à peine la poupe, & ne la frape effectivement par derriere que lorsque l'obliquité des parties facilite le choc. Dans cet endroit l'eau ne poursuit le Navire qu'avec une vitesse de 14 pieds, à peu près égale à la sienne. Notre solution convient encore à ce cas, en même tems qu'elle convient à toutes les tranches horisontales de la poupe qu'on peut imaginer au-dessous, il n'importe de quelle quantité. Mais il est évident qu'elle n'est point aplicable aux endroits qui sont au-dessus, ou qui sont entre la surface de l'eau & trois pieds de profondeur, puisque l'eau n'a plus assez de vitesse pour atteindre les parties de la poupe qui sont situées perpendiculairement; au moins lorsque le Navire single avec la plus grande vitesse que nous lui attribuons. Le Vaisseau laisse en haut derriere lui un vuide qui ne se remplit qu'avec peine; & il faut par conséquent dans l'expression $ac - ab$

Digitized by Google

$+bs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ de l'impulsion que souffre la poupe, re- Fig. 101. & 102.
trancher toute la quantité $\overline{c-b} \times \overline{a-s}$ que nous avions jointe pour l'impulsion que recevoit le côté CE : il faut en un mot, ne considerer que l'impulsion $cs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ à laquelle est sujet le seul flanc BE. Il peut sembler que l'autre expression est assez générale pour s'apliquer à tous les cas ; mais la plus grande généralité dont elle jouit, n'a lieu que dans le pur géométrique, sans s'étendre réellement jusqu'au cas physique. Car l'eau qui a moins de vitesse que le Navire ne peut pas venir fraper effectivement le côté CE dans le sens contraire avec la différence de vitesse $b-c$.

Enfin si on prend la différentielle de $cs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$, on trouvera $cds - \frac{2bsds}{\sqrt{b^2+s^2}} + \frac{bs^3ds}{\overline{b^2+s^2}^{\frac{3}{2}}}$, & l'égalant à zéro ; il viendra $c \times \overline{b^2+s^2}^{\frac{3}{2}} = 2b^3s + bs^3$ qui satisfait donc au second cas du Problême ; c'est-à-dire, que cette équation indique la situation la plus avantageuse qu'il faut donner aux deux flancs BE & *be*, lorsque l'eau n'a pas assez de vitesse pour atteindre le côté E*e*.

Mais on doit remarquer qu'au lieu que la quantité s ou DE ne dépendoit que de la seule longueur b de la poupe, elle dépend maintenant & de cette longueur & de la vitesse absoluë c de l'eau, ou du raport qu'elle a avec celle du Navire. A mesure que c est moindre, la quantité s ou DE est plus petite ; & elle devient nulle, lorsque c se réduit à rien. Ainsi la poupe qui doit se terminer en pointe dans les coupes horisontales qui sont au-dessous de trois pieds de profondeur, perdroit cette figure au-dessus de ce point ; si on pouvoit toujours la supose formée de coupes horisontales comme BE*eb* : elle iroit en s'élargissant & finiroit à fleur d'eau par une coupe rectangulaire, ou ce qui revient au même, elle auroit ses deux flancs exactement paralleles.

Fig. 101. & 102. Le point qui fait la distinction des deux cas, change de hauteur selon que la vitesse du Navire est plus ou moins grande; plus le sillage est lent, plus ce point se trouve élevé, puisqu'il est plus facile à l'eau d'atteindre la poupe. Lorsque le Navire ne fait qu'une lieuë & demie par heure ou environ 7 pieds par seconde, l'eau qui n'étoit auparavant suffisamment comprimée qu'à 3 pieds de profondeur, commencera à l'être assez vers 9 ou 10 pouces, pour pouvoir agir efficacement. Il faudroit donc alors que la poupe eut presque par tout la même figure; qu'elle fut formée depuis le bas jusqu'en haut par deux plans verticaux, qui en se rencontrant à l'étambot, fissent un angle qui ne surpassât pas 76 degrés 20 minutes, & que ce ne fut qu'à environ 9 pouces de distance de la surface de la mer, qu'elle s'élargit tout-à-coup, jusqu'à devenir aussi large que l'est le Navire vers le milieu. Ce changement de figure est après tout de peu de conséquence à l'égard de l'impulsion, vû l'extrême lenteur avec laquelle l'eau trop peu comprimée vers sa surface, poursuit le Navire. Mais il est très-digne d'attention, qu'en ne voulant procurer à la partie postérieure de la carène que l'unique proprieté d'être poussée par le reflux de l'eau le plus qu'il est possible, on trouve précisement la figure qui ayant le plus de largeur par en haut, fait aussi que le Navire a le plus de force pour porter la voile.

V.

Si on veut que la poupe qui souffre le plus grand choc par le reflux de l'eau, ne soit pas plus large par en haut que par en bas; & qu'on joigne en même tems la condition que le Navire ait plus de force qu'il est possible pour porter la voile, il faudra alors courber ses deux flancs & leur donner quelque convexité. Nommant, comme nous l'avons déja fait, M le moment total du Vaisseau par raport à son métacentre, & N la force du vent pour faire accerer le sillage, y compris l'effort total que fait l'eau sur la poupe, lequel contribuë au même effet, & que b soit toujours la vitesse du Navire, on trouvera en suivant à-peu-

Digitized by Google

près la methode dont nous avons fait usage dans le Chapitre précédent & en prenant e pour la plus grande ordonnée de la poupe, & a pour une arbitraire constante, pendant que u est une variable qui conserve avec a le même raport que les soutangentes avec les ordonnées, ou que les dx avec les dy, on trouvera dis-je que les ordonnées y de la courbe la plus simple qui satisfait à la question sont exprimées par $\sqrt[3]{\frac{6M}{N} \times \frac{e \times \overline{a^2+u^2}^{\frac{1}{2}} - a^2bu}{\overline{a^2+u^2}^{\frac{1}{2}}}}$, & les abscisses x par $\sqrt[3]{\frac{6M}{N}} \times \int \frac{\frac{2}{3}abu^3du - \frac{1}{2}a^3budu}{\overline{e \times \overline{a^2+u^2}^{\frac{1}{2}} - a^2bu}^{\frac{1}{2}} \times \overline{a^2+u^2}^{\frac{1}{2}}}$. Mais tout nous invite à ne nous point engager dans le calcul numérique des dimensions de cettte nouvelle courbe. Nous croyons cette seconde solution fort inférieure à la premiere, parce que pour se prêter à l'une & à l'autre condition, il arrive qu'on renonce par en bas à la figure qui reçoit absolument le plus d'impulsion de la part de l'eau, & que cependant on n'obtient pas celle qui par en haut donne autant de force au Navire pour soutenir la voile. D'ailleurs il se présente un autre inconvenient auquel il n'y a point de remede. Au lieu que la variabilité des vitesses b dont le sillage est susceptible n'exigeoit auparavant qu'un leger changement qu'on pouvoit négliger dans la figure de la poupe, parce qu'il n'étoit nécessaire que vers le haut, elle demanderoit ici une chose absolument impossible; que la poupe fut totalement & continuellement changée depuis le haut jusqu'au bas: la forme qu'on doit lui donner pour le cas où le sillage est foible, étant très-éloignée de convenir au cas dans lequel le sillage est rapide.

Fig. 101. & 102.

VI.

Ainsi nous avons de fortes raisons pour revenir à la poupe angulaire formée de deux plans verticaux. On joindra, comme nous l'avons dit, cette poupe avec la prouë de la même espece dont il a été question dans le premier

Digitized by Google

Chapitre de cette Section, & on en formera une Frégate d'une figure fort extraordinaire; mais qui ne laissera pas d'avoir ses avantages. Outre qu'elle sera très-facile à construire, elle sera sujette à très-peu de dérive dans les routes obliques; & de plus elle sera très-propre à naviguer dans toutes les Mers. Elle ne sera pas exposée à l'inconvenient qui est si fort à craindre, lorsqu'on rend le dessous de la carène trop fin vers l'avant & vers l'arriere: car si ses deux extremités sont fort aiguës, elles occuperont cependant toujours assez de place dans la Mer, eu égard à leur peu de poids: elles ne se trouveront jamais en l'air; ce qui diminuera la force du tangage. Cette Frégate ou cette corvette seroit préférable en cela à celle qu'on pourroit former en joignant la prouë représentée dans la figure 104 avec une poupe convenable ou correspondante: mais on seroit presque autant gêné dans l'une que dans l'autre, lorsqu'il s'agiroit de disposer la mâture.

CHAPITRE VIII.

Suite du Chapitre précédent; examen de la figure qu'il faut donner à la poupe lorsqu'elle est un conoïde; & de la maniere d'en former une Frégate.

I.

IL ne sera pas difficile de déterminer la figure que doit avoir la poupe lorsqu'elle sera un conoïde. Si BADE (Fig. 120.) est ce conoïde dont x désigne les parties de l'axe & y les ordonnées, & que ϵI parallele à l'axe AC représente la vitesse b du Vaisseau, on aura en formant le rectangle ϵLIK par des paralleles & des perpendiculaires à la surface du conoïde, la quantité ϵL pour la vitesse avec laquelle chaque petite partie comme $\iota\epsilon$ de la surface de la poupe, se soustrait à la poursuite de l'eau, lorsqu'elle vient par son reflux remplir le vuide que laisse le Navire derriere lui

par son progrès en avant. Le triangle KϵI est semblable au petit $\epsilon M e$ qui est formé par les différentielles dx & dy & par la particule ϵe la courbe génératrice du conoïde, ce qui donne cette analogie, $\epsilon e\ (=\sqrt{dx^2+dy^2})\ |\ \epsilon M\ (=dy)\ ||\ \epsilon I\ (=b)\ |\ KI = \frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$; & c'est donc $\frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ qu'il faut soustraire de la vitesse absoluë de l'eau. Nous avons déja dit que cette derniere vitesse qui est d'autant plus grande que l'eau supérieure cause par son grand poids plus de compression, est proportionelle aux racines quarrées des profondeurs. Ainsi nommant z ces profondeurs, on aura $\sqrt{z} - \frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ pour la vitesse restante avec laquelle l'eau peut choquer chaque partie de la poupe. Elle choque avec cette vitesse le point E, supofé que z désigne CE; & le point G supofé que z marque la profondeur GH. &c. Fig. 120.

II.

Il suit de-là que toutes les parties d'une zone BbEDd sont choquées avec différentes vitesses $\sqrt{z} - \frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$, à cause de leurs diverses profondeurs, quoique la portion retranchée $\frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ soit exactement la même ; parce que chaque zone étant formée par la révolution d'un petit arc de la courbe génératrice, toutes ses parties ont la même obliquité, ce qui produit, à l'égard de chaque zone, la même décomposition dans toutes les vitesses, comme Iϵ. Si nous nommons maintenant ds les parties élementaires FG de chaque demie circonférence BED dont y marque le rayon, nous aurons $ds \times \sqrt{dx^2+dy^2}$ ($=$FG$\times$Ff) pour l'étenduë de chaque petite partie FfgG de zone; mais comme ce n'est pas de l'impulsion absoluë dont il s'agit ici, mais seulement de l'impulsion relative qui s'exerce dans le sens de l'axe, il faut, conformement

Fig. 120. à ce que nous avons vû ci-devant, reduire ce petit trapeze Fg à sa projection FOPG sur le plan vertical BED, & nous aurons $dsdy$ pour l'étenduë de cette petite projection qu'il faut multiplier, ou par la vitesse $\sqrt{z} - \frac{bdy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$ ou par son quarré, selon la différente hypothése qu'on voudra suivre. La seconde hypothése ne peut avoir que difficilement son aplication ici, & d'ailleurs la premiere rend le Problême beaucoup plus simple. Ainsi nous multiplions $\sqrt{z} - \frac{bdy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$ par $dsdy$, & nous aurons $\sqrt{z} \times dsdy - \frac{bdsdy^2}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$ pour l'impulsion relative que reçoit selon son axe la petite partie Fg de la surface de la poupe, lorsque le Navire fuit ou avance avec la vitesse b. En intégrant cette expression, pour avoir l'impulsion sur la zone entiere bEd, il faut remarquer qu'il n'y a que z & ds de variables; puisque dy & dx ne sont sujettes à changer, que lorsqu'on passe d'une zone à l'autre. Nous aurons donc $dy \times \int \sqrt{z} \times ds - \frac{bsdy^2}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$ pour l'impulsion relative sur la zone bEd; impulsion qui se changera en $dy \times \int \sqrt{z} \times ds - \frac{\varpi bydy^2}{\delta\sqrt{dx^2 + dy^2}}$; si prenant δ & ϖ pour exprimer le raport du diamétre du cercle à la circonférence, nous faisons attention que $\frac{\varpi y}{\delta}$ doit désigner la demie circonférence BED dont CE $= y$ est le rayon.

III.

Il n'est jamais permis dans ces sortes de Problêmes, comme on le sçait, de se borner à la considération d'une seule zone. Si on vouloit qu'une seule souffrit la plus grande impulsion possible en l'assujettissant toujours à dy ou Me constante, & ne faisant varier que M$e = dx$, il faudroit augmenter Me de plus en plus, jusqu'à la rendre infinie; ce qui donneroit à la zone une forme exactement cilindrique.

Digitized by Google

drique. Alors elle retrancheroit par ſa ſituation le moins qu'il ſeroit poſſible de la viteſſe abſoluë $\sqrt{z}$ de l'eau. Mais auſſi-tôt qu'on prend deux zones à côté l'une de l'autre qui doivent, jointes enſemble; avoir une certaine largeur déterminée, en augmentant la largeur de l'une au préjudice de l'autre; on peut en faiſant augmenter dx qui apartient à l'une, en même tems qu'on fera ſubir un égal changement ddx, mais contraire à dx qui apartient à l'autre, faire enſorte que dans les cas actuels mêmes les deux zones jointes enſemble reçoivent la plus grande impulſion poſſible; & il ſuffira pour cela de rendre nulle la différentielle de toute l'impulſion. Si nous ſupoſons enfin que dx augmente de ddx, nous aurons $\frac{nbydy^2 dxddx}{s\times\overline{dx^2+dy^2}^{\frac{3}{2}}}$ pour la différentielle de l'impulſion $\overline{dy\int\sqrt{z}\times ds - \frac{nbydy^2}{s\sqrt{dx^2+dy^2}}}$ que ſouffre la premiere zone: mais la même différentielle ſera négative dans la zone ſuivante, à cauſe de la diverſité de modification que ſouffre ddx, qui de poſitive, par raport à la premiere zone, devient négative par raport à l'autre. Mais puiſque la différentielle de l'impulſion à laquelle ſont ſujettes les deux zones enſemble, doit être nulle, & que cet aneantiſſement ne vient que de ce que les deux différentielles particulieres ſe détruiſent mutuellement, il faut que ces différentielles ſoient égales. Elles le ſeront encore étant diviſées également par ddx & par $\frac{nb}{s}$; & comme c'eſt la même choſe pour toutes les autres zones, la quantité $\frac{ydy^2 dx}{\overline{dx^2+dy^2}^{\frac{3}{2}}}$ doit donc être continuellement conſtante, & on peut l'égaler à une quantité a; ce qui nous donnera $ydy^2dx = a\times\overline{dx^2+dy^2}^{\frac{3}{2}}$ ou $y^2dy^4dx^2 = a^2dx^6 + 3a^2dx^4dy^2 + 3a^2dx^2dy^4 + a^2dy^6$ pour l'équation de la courbe qui ſatisfait au Problême. Fig. 120.

Digitized by Google

Fig. 120.

IV.

Il ſuffit pour reſoudre cette équation de prendre, comme ci-devant, une nouvelle indéterminée u, en la ſupoſant telle que $dx = \frac{udy}{a}$; & on verra ſans peine en faiſant le reſte du calcul, que la formule $\sqrt{\frac{u^4}{a^2} + 3u^2 + 3a^2 + \frac{a^4}{u^2}}$ exprimè y, dont la moindre valeur eſt $\frac{3\sqrt{3}}{2}a$, qui repond à $u = a\sqrt{\frac{1}{2}}$; & que $x = \int \frac{2u^6du + 3a^2u^4du - a^6du}{\sqrt{a^4u^8 + 3a^6u^6 + 3a^8u^4 + a^{10}u^2}} =$ $\int \frac{2u^5du}{a^2 \times \overline{a^2+u^2}^{\frac{3}{2}}} + \int \frac{3u^3du}{\overline{a^2+u^2}^{\frac{3}{2}}} - \int \frac{a^4du}{u \times \overline{a^2+u^2}^{\frac{3}{2}}}$. La courbe que fourniſſent ces formules eſt encore aſſez droite; elle dépend des logarithmes ou de la quadrature de l'hyperbole, & elle devient une ſeconde parabole cubique lorſqu'on la prolonge infiniment: deſorte qu'au lieu de devenir parallele à l'axe, elle s'en éloigne continuellement; & lors qu'on joindra donc le conoïde qu'elle formera avec le conoïde de la prouë, les deux conoïdes n'en feront que plus diſtingués. Je mets ici une Table par le moyen de laquelle il ſera toujours facile de tracer cette courbe dans ſon commencement ou dans la partie où elle doit avoir le plus de courbure; & on pourra enſuite, ſi on le veut, la tracer ſenſiblement droite, ou ſuivre la ſeconde parabole cubique. Enfin ſi on ſe ſouvient que l'impulſion de l'eau vers le haut de la poupe eſt très-foible dans une eſpace de 2 ou 3 pieds, on jugera aſſez qu'il n'y a point d'inconvenient à alterer dans cet endroit la figure qu'on vient de trouver: & il n'y aura par conſéquent que de l'avantage à élargir la partie poſtérieure de la carène vers la ſurface de l'eau, afin que le Navire porte mieux la voile, & afin de procurer auſſi plus d'étenduë aux logemens des Officiers, qu'on met ordinairement vers la poupe.

Digitized by Google

TABLE

Des dimenſions de la poupe conoïdale qui contribue le plus qu'il eſt poſſible au ſillage par l'impulſion qu'elle reçoit du reflux de l'eau.

Abſciſſes ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abſciſſes ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abſciſſes ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abſciſſes ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.
0	260	315	485	1538	996	4487	1831
2	262	382	521	1709	1054	4832	1914
9	271	456	559	1893	1114	5188	1998
21	283	539	600	2089	1177	5564	2084
37	299	630	642	2301	1242	5964	2174
59	317	729	686	2525	1309	6381	2265
86	339	838	732	2762	1378	6811	2358
119	364	957	781	3013	1449	7265	2454
159	390	1086	831	3278	1522	7738	2551
204	420	1225	884	3556	1596	8234	2652
256	451	1375	939	3849	1672	8750	2754
				4158	1750		

V.

Il n'y aura aucun inconvenient à joindre la poupe dont la forme eſt indiquée par cette Table avec la prouë dont nous avons parlé à la fin du Chapitre II. qui n'enfonce qu'en partie dans l'eau. Mais ſi au lieu de rendre circulaires les coupes faites perpendiculairement à ſa longueur, on les rend des triangles, ainſi qu'il ſeroit à propos de le faire dans les Corvettes & ſouvent dans les Frégates ; la Table marquera exactement la courbure qu'il faudra donner au conoïde triangulaire de la poupe, lequel doit ſe joindre avec la prouë triangulaire que nous avons décrite dans l'article I. du Chapitre IV. & qui eſt repréſentée dans la figure 110. Il n'eſt pas douteux qu'on ne forme de cette ſorte des Frégates, qui munies d'une voilure extrêmement legere, ſingleront avec la plus grande viteſſe dans la route direc-

te, & qui auront outre cela la proprieté en marchant très-vite dans les routes obliques, de dériver le moins qu'il est possible. Il faut encore ajouter qu'on commencera dans ces Frégates à trouver de la facilité à disposer leur mâture : on ne sera pas obligé de la porter si près de l'extremité de la carène qui devient un peu plus large vers l'avant. D'ailleurs comme la prouë va ici en s'ouvrant vers le haut, il sera plus aisé de donner toute la largeur suffisante à sa partie qui est toujours au-dessus de la Mer, & qui n'est pas déterminée par notre solution.

CHAPITRE IX.

De la forme que doivent avoir les Navires de transport & les Navires de guerre, & d'une derniere forme pour les Frégates.

IL n'a point été question de la grandeur de la cale ou de la quantité de la charge qu'elle pouvoit contenir, lorsque nous avons travaillé dans les Chapitres précédens à former toutes les parties de la carène. Ainsi il y a lieu de croire que les Vaisseaux que nous sommes actuellement en état de construire ne seroient que de peu d'utilité pour le commerce ou pour la guerre, qui demandent encore plus des bâtimens d'un grand port que des Navires qui marchent vite. Il nous faut donc tâcher de satisfaire à cette nouvelle vuë. Nous ne nous sommes permis dans les Recherches précédentes de grossir la carène, que dans le dessein de conférer plus de rapidité à la marche; mais nous devons désormais pousser le renflement de cette partie encore plus loin; pourvû que nous réussissions à donner plus de capacité à la cale ou à faire augmenter la quantité de la charge dans un plus grand raport que nous ne ferons diminuer la promptitude du sillage. Pour le dire, en un mot; c'est la solidité de la carène multipliée par la vi-

teſſe que nous devons rendre la plus grande qu'il eſt poſſible. Ce ne ſera ni la quantité de la maſſe tranſportée qui ſera un *maximum*, ni la ſimple viteſſe du tranſport : mais ce ſera le produit de l'une par l'autre, ou la quantité même du mouvement, lequel dépend, comme le ſçavent tous les Phyſiciens, de la maſſe du corps mû & de ſa viteſſe. Il eſt clair que ſi nous réuſſiſſons à réſoudre ce nouveau Problême, le Navire dans un tems donné, tranſportera enſuite la plus grande quantité de marchandiſes à la plus grande diſtance, ou qu'il ſinglera avec la plus grande viteſſe poſſible, eu égard à la grandeur de ſa charge. On peut remarquer que c'eſt préciſément le même Problême, que s'il s'agiſſoit de trouver la figure qui rend le ſillage le plus rapide, lorſque la ſolidité de la carène eſt donnée.

I.

Premiere ſolution, pour le cas dans lequel la prouë eſt formée par deux plans verticaux qui ſont un angle.

Supoſons que le parallelipipede rectangle EFIH (Fig. 121) ſoit formé des plus grandes dimenſions qu'on peut donner au Navire qui aura pour le propre corps de ſa carène une partie NPQL de ce parallelipipede : cette partie ſéparera la poupe de la prouë qui ne viendront pas ſe joindre immédiatement vers le milieu de la carène comme dans les Navires deſtinés à ſingler avec la plus grande viteſſe ; l'avant & l'arriere ſeront formés l'un & l'autre par deux plans verticaux qui feront un angle, en ſe terminant aux arrêtes verticales AR & BS. Nous pouvons former ainſi la prouë par la rencontre de deux plans ; puiſque nous ſçavons que cette figure éprouve la moindre réſiſtance de la part des fluides & qu'elle eſt outre cela ſenſiblement une des plus avantageuſes, ou qu'elle ne differe que très-peu d'une des figures de *la plus grande viteſſe*. Le milieu C de la partie OL la plus groſſe de la carène ſera toujours, ſi on le veut, plus avancé vers la prouë A, & rien n'empêchera Fig. 121.

Digitized by Google

Fig. 121. qu'il n'y ait entre AC & CB le raport de 5 à 7 que nous avons trouvé le plus convenable. On fera TC & CV égales : la carène conservera sa même grosseur sur toute la longueur TV aux extremités de laquelle elle commencera à se retrecir. Ainsi toute la question se réduira à déterminer le point T qui est comme le commencement de la prouë.

Je nomme a la partie AC de la longueur du Navire du côté de l'avant ; b l'autre partie CB ; c la demie largeur TO ou VM, de même que la profondeur AR ou BS que je supose égale à la plus grande demie largeur ; enfin je désigne par x la longueur AT que doit avoir la prouë & qu'il s'agit de découvrir. Cela suposé, on aura $a-x$ pour la demie longueur TC ou VC du corps de la carène ou de ce solide que nous introduisons entre la poupe & la prouë, & $b-a+x$ $(=CB-CV)$ pour la longueur VB de la poupe. L'étenduë de l'éxagone irrégulier ANLBMO sera exprimée en même tems par $3ac+bc-2cx$ qui est la somme du rectangle $NM=4ac-4cx$, & des deux triangles NAO & MBL, dont l'un est égal à cx, & l'autre à $bc-ac+cx$; & multipliant cette étenduë par la profondeur c de la carène, il viendra $3ac^2+bc^2-2c^2x$ pour sa solidité.

Si l'on applique au même exagone ANLBMO la formule $\frac{2}{3}\int\frac{y^3dx}{p}$ qui indique la quantité dont le métacentre est au-dessus du centre de gravité même du Navire, on aura $\frac{\overline{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times c^3}{p}$ pour cette hauteur dont une partie plus ou moins grande, selon que le Navire est plus ou moins incliné, sert comme de bras de lévier à la pésanteur totale p. On a réduit dans la Section précédente cette hauteur à sa sixiéme partie, pour en former le levier, & si on multiplie cette partie par la pesanteur p il viendra $\overline{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{1}{6}c^3$ pour le moment de cette pesanteur, ou pour la force relative qu'a le Navire pour soutenir la voile ; & il ne restera plus pour l'évaluer en mesures ordinaires qu'à supo-

Digitized by Google

ſer que a, b & c ſont en pieds de Roy & multiplier la quantité précédente par 72 livres qui eſt le poids du pied cubique d'eau de mer, & on aura $\overline{\frac{2}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times 12c^3$ pour la valeur du moment ou de la ſtabilité en livres. Fig. 111.

C'eſt ce moment ou cette force relative, comme le ſçavent les Lecteurs, qui s'oppoſe à l'effort que fait la voile pour faire verſer le Navire. Nous nommerons l la largeur des voiles, h leur hauteur exprimée en pieds de Roy, & i l'impulſion que fait le vent ſur chaque pied quarré de ſurface. L'étenduë des voiles ſera exprimée par hl, l'impulſion totale du vent par ihl, & le moment de cet effort qui ſe réunit au milieu de la mâture par $\frac{1}{2}ih^2l$. Il eſt vrai que nous négligeons la quantité dont le bas de la voile eſt élevé au-deſſus du point de la carène qui ſert d'hypomoclion, ce qu'on peut faire preſque dans tous les cas, & à plus forte raiſon dans les Navires de charge qui ſont peu élevés au-deſſus de l'eau. Mais l'égalité qu'il y a entre les momens de l'effort du vent & de la peſanteur du Navire qui ſe contrebalancent mutuellement, donne l'équation $\overline{\frac{2}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times 12c^3=\frac{1}{2}h^2li$, dont on tire la formule $h=\sqrt{\overline{\frac{2}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{24c^3}{il}}$ qui nous apprend la hauteur que doit avoir la mâture; & l'étenduë lh des voiles ſera donc exprimée par $\sqrt{\overline{\frac{2}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{24c^3l}{i}}$.

Enfin il faut déterminer la viteſſe du ſillage du Navire; & il eſt néceſſaire pour cela de chercher la quantité de l'impulſion de l'eau ſur la prouë que nous comparerons à l'impulſion du vent ſur les voiles. L'angle d'incidence de l'eau eſt égale à l'angle TAO; & ſi on prend l'unité pour ſinus total, on trouvera le ſinus de cet angle par cette analogie, AO $(=\sqrt{\overline{AT}^2+\overline{TO}^2})=\sqrt{c^2+x^2}\mid TO=c \mid\mid 1 \mid \frac{c}{\sqrt{c^2+x^2}}$; & multipliant le quarré de ce ſinus par l'étenduë $2c^2$ à laquelle ſe réduit la prouë projettée ſur un plan perpen-

Fig. 121. diculaire à la longueur du Navire, on aura $\frac{2c^4}{c^2+x^2}$ pour l'impulsion relative directe selon la détermination de l'axe, laquelle doit être égale à l'effort du vent sur la voile. Il faut cependant encore multiplier $\frac{2c^4}{c^2+x^2}$ par le quarré de la vitesse du choc. Je nomme v cette vitesse, & V celle du vent, pendant que je désigne par l'unité la densité de l'air & par D celle de l'eau, & j'ai $\frac{2c^4Dv^2}{c^2+x^2}$ pour l'impulsion de l'eau; pendant que le quarré de la vitesse respective $V-v$ du vent par raport au Navire, multiplié par l'étenduë des voiles $\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}$ & par la densité 1 de l'air, donnera $\overline{V-v}^2\times\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}$ pour l'impulsion du vent: & on aura par conséquent l'équation $\frac{2c^4Dv^2}{c^2+x^2} = \overline{V-v}^2\times\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}$ dont on tire $v\sqrt{\frac{2c^4D}{c^2+x^2}} = V-v\times\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}}$, & $v = \frac{V\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}}}{\sqrt{\frac{2c^4D}{c^2+x^2}}+\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}}}$ qui indique la vitesse que doit recevoir le sillage. Or il ne reste plus qu'à multiplier cette expression par la solidité ou la masse $3ac^2+bc^2-2c^2x$ de la carène trouvée ci-devant, & il viendra

$$\frac{V\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}}\times\sqrt{c^2+x^2}\times 3ac^2+bc^2-2c^2x}{\sqrt{2c^4D}+\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}}\sqrt{c^2+x^2}}$$

pour la quantité du mouvement, dont il s'agit de faire un *maximum*, puis qu'on veut que le Navire transporte la plus grande charge avec la plus grande vitesse possible.

Ainsi il faut prendre selon les regles ordinaires la différentielle

rentielle de cette quantité, on aura . . . . Fig. 121.

$$\frac{c\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{\frac{ci}{6l}}}\times\frac{9}{4}x^3dx \left.\begin{array}{l}-\frac{101}{24}a\\ -\frac{23}{24}b\end{array}\right\} x^2dx \left.\begin{array}{l}+\frac{7}{4}a^2\\ +\frac{5}{6}ab\\ +\frac{1}{12}b^2\\ +\frac{5}{4}c^2\end{array}\right\} xdx \left.\begin{array}{l}-\frac{37}{24}ac^2\\ -\frac{7}{24}c^2b\end{array}\right\} dx \;-dx\times\overline{\tfrac{7}{6}a+\tfrac{1}{6}b-x}^{\frac{5}{4}}\times\overline{c^2+x^2}^{\frac{3}{2}}}{\overline{c\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{\frac{ci}{6l}}}+\sqrt{\sqrt{\tfrac{7}{6}a+\tfrac{1}{6}b-x}}\sqrt{c^2-x^2}}^{\,2}}$$

& l'égalant à zéro, il viendra l'équation . . . .

$$\frac{9}{4}x^3 \left.\begin{array}{l}-\frac{101}{24}a\\ -\frac{23}{24}b\end{array}\right\} x^2 \left.\begin{array}{l}+\frac{7}{4}a^2\\ +\frac{5}{6}ab\\ +\frac{1}{12}b^2\\ +\frac{5}{4}c^2\end{array}\right\} x \left.\begin{array}{l}-\frac{37}{24}ac^2\\ -\frac{7}{24}c^2b\end{array}\right. = \frac{\overline{\tfrac{7}{6}a+\tfrac{1}{6}b-x}^{\frac{5}{4}}\times\overline{c^2+x^2}^{\frac{3}{2}}\sqrt{\sqrt{6l}}}{c\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{ci}}}$$

qui fournit la ſolution du Problême. Il n'y a qu'à chercher dans cette équation la valeur de x, & on ſçaura la longueur qu'il faudra donner à l'axe AT de la prouë.

Pour réduire en nombre la quantité $\frac{\sqrt{\sqrt{6l}}}{\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{ci}}}$ qui multiplie le ſecond membre, on n'a qu'à mettre 576 à la place de D qui déſigne la denſité de l'eau par raport à celle 1 de l'air, conformement aux expériences de M. Mariote. On pourra ſuppoſer auſſi comme nous l'avons fait dans la Section précédente que l'effort i du vent ſur chaque pied quarré d'étenduë de la voile, eſt de 2 livres, & que la largeur l des voiles actuellement expoſées au vent, eſt égale à trois fois la largeur du Navire ou égale à $6c$. La grande voile ſeule a ſa largeur par en bas double de celle du Navire ou égale à $4c$; on mettra le ſurplus, parce que les voiles inférieures ſont plus larges par en haut, & qu'outre cela le vent peut frapper ſur une partie de celles de la prouë. Toutes ces ſupoſitions rendent $\frac{\sqrt{\sqrt{6l}}}{\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{ci}}}$ égale à $\frac{\sqrt{\sqrt{18}}}{24}$ qui eſt égale à très-peu près à $\frac{86}{1000}$ & après cela l'équation ne contient plus que des quantités parfaitement connuës, ſi on excepte x. Mais ſi on revêtit de nombres la differen-

Fig. 121. tielle même, ou si on la considere seulement avec attention, on verra qu'elle est d'abord négative ; & qu'ainsi lorsque la prouë est terminée par un seul plan vertical DI & qu'on commence à la former en angle ou à donner quelque accroissement à l'axe AT, la quantité du mouvement que reçoit le Navire commence par aller en diminuant. C'est ce qu'elle fait jusqu'à un certain terme qui est *un moindre* & qui est indiqué par une premiere valeur de x qu'il faut par conséquent éviter avec soin dans la construction. Au-delà de ce terme, la différentielle devient positive, ou ce qui est la même chose, la quantité du mouvement va en croissant & elle parvient à la fin à son *maximum* qui répond à une autre valeur AT de x que fournit également la différentielle égalée à zéro. Cette seconde valeur de x étant découverte, il est à propos de l'introduire dans l'expression même . . . .

$$\frac{V\sqrt{\sqrt{\sqrt{\tfrac{7}{6}a+\tfrac{1}{6}b-x}\times\tfrac{24c^3l}{i}}\times\sqrt{c^2+x^2}}\times\overline{3ac^2+bc^2-2c^2x}}{\sqrt{2c^4D}+\sqrt{\sqrt{\sqrt{\tfrac{1}{6}a+\tfrac{1}{6}b-x}\times\tfrac{24c^3l}{i}}\times\sqrt{c^2+x^2}}}$$

du mouvement, afin d'éprouver si elle le rend réellement plus grand que lorsque l'axe AT ($=x$) est nulle, ou que lorsque la prouë est terminée par un seul plan vertical DGIH. Car comme la quantité du mouvement diminuë d'abord lorsqu'on fait croître x, & qu'elle n'augmente qu'ensuite, il se pourroit faire que la somme de ses accroissemens ne fut pas si grande que la somme des premieres diminutions qu'elle a souffertes ; & alors le Navire formé à la Chinoise en parallelipipede rectangle par l'avant, recevroit plus de mouvement, & seroit préférable. Dans ce cas Pierre Jansse dont nous avons parlé eut eu raison.

Supposé qu'il s'agisse en particulier d'un Navire de 144 pieds de longueur formée de AC de 60 pieds & de CB de 84, & que la largeur soit de 40 pieds, on trouvera par la résolution de l'équation que l'axe AT de la prouë qui rend effectivement le mouvement le plus grand qu'il est possible, doit être d'un peu plus de 37 pieds ; de sorte que

Digitized by Google

la partie NM de la carène qui est partout de même grosseur sera d'un peu moins de 46 pieds de longueur & l'axe VB de la poupe d'environ 61 : & il faudra observer à peu-près les mêmes rapports dans tous les autres bâtimens. On regardera peut-être comme un paradoxe que les Navires de transport qui ont leur principales dimensions proportionelles, ne sont pas semblables, aussi-tôt qu'ils ont la forme la plus parfaite ou qu'ils singlent avec la plus grande vitesse possible, à proportion de la charge qu'ils peuvent porter. Cette diversité de figures vient originairement du vice attaché aux petits Navires, de n'avoir pas tant de force à proportion que les grands pour soutenir la voile, & de ce qu'ils singlent par conséquent moins vite, lorsque toutes les circonstances sont les mêmes. Il suit delà que lorsqu'on rend leur prouë un peu plus longue ou plus aiguë, & qu'on retranche de la capacité de leur cale, la quantité de leur mouvement s'en trouve un peu augmentée; parceque le même changement produit plus d'effet sur leur vitesse qu'il n'en produiroit sur celle des grands Vaisseaux, qui est d'autant moins susceptible d'augmentation, qu'elle est déja plus grande, & que le vent se meut moins vite à leur égard; & c'est ce qui résulte aussi de la solution précédente. Cependant on peut presque toujours négliger cette différence dans la pratique : car un Navire de charge qui a 36 pieds de long doit avoir l'axe de la prouë d'un peu moins de 10 pieds; & il est permis de confondre dans ces matieres le rapport d'un peu moins de 10 à 36 avec celui d'un peu plus de 37 à 144. Enfin on peut prendre pour regle générale de conserver à la carène sa même grosseur sur un espace qui soit à peu-près les 32 centiémes de toute la longueur du Navire. Si on racourcissoit cette partie, la prouë deviendroit plus aiguë & le sillage plus rapide; mais le surplus de la rapidité ne repareroit pas la perte qui se feroit sur la quantité même de la charge : & si on allongeoit au contraire le corps de la carène en racourcissant la prouë, le Navire porteroit ensuite une plus grande charge; mais sa vitesse diminueroit dans un plus grand Fig. 121.

rapport, & il y auroit donc une perte réelle sur la quantité absoluë du mouvement ou du transport.

II.

Seconde solution, pour le cas dans lequel la prouë est terminée par un seul plan incliné en avant.

Au lieu de former la prouë par deux plans verticaux qui fassent un angle, on peut la terminer par un seul plan incliné en avant comme dans la figure 122; & conserver à la coupe horisontale DEFG du Navire faite à fleur d'eau sa forme rectangulaire. La prouë aura dans ce cas comme on le sçait* non-seulement la figure de *la moindre résistance*, mais celle de *la plus grande vitesse*. Elle sera aussi poussée le plus qu'il est possible dans le sens vertical, ce qui augmentera la hauteur du point vélique; & ce qui ne l'augmentera pas inutilement, puisque le Navire portera beaucoup de voiles dans toutes les routes. La poupe d'un autre côté étant terminée par un plan incliné en arriere aura aussi la proprieté de contribuer le plus qu'il sera possible à la vitesse du sillage par le choc que produira le reflux de l'eau, comme on peut s'en assurer aisément par la méthode expliquée dans l'autre Chapitre. Ainsi il n'est question que de déterminer la longueur qu'il faut donner au propre corps NQ de la carène; & on y réussira avec facilité, en suivant les vestiges de la solution précédente; ce second Problême étant beaucoup plus simple que le premier.

Fig. 122.

* Voyez les art. 3 & 9 du Chap. 5.

Si l'on conserve toujours les mêmes dénominations que ci-devant, qu'on désigne AC par a; CB par b; la demie-largeur du Navire par c, la longueur GO de la prouë par x &c. On aura $3ac^2 + bc^2 - 2c^2x$ pour la solidité de la carène, ou pour la capacité de la cale; $8ac^3 + 8bc^3$ pour la stabilité ou pour la force relative en livres qu'a le Navire pour soutenir la voile: on aura $\sqrt{\frac{10ac^3l + 6bc^3l}{i}}$ pour l'éten-

duë *lh* des voiles; $\frac{2c^4Dv^2}{c^2+x^2}$ pour la force de l'impulſion de l'eau ſur la prouë; Fig. 122.

$$\frac{V\sqrt{c^2+x^2}}{\frac{c\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{ci}}}{\sqrt{\sqrt{4al+4bl}}}+\sqrt{c^2+x^2}}$$ pour la viteſſe du ſillage; & enfin en multipliant cette expreſſion de la viteſſe par celle $3ac^2+bc^2-2c^2x$ de la grandeur de la cale, on aura

$$\frac{\overline{3ac^2+bc^2-2c^2x}\times V\sqrt{c^2+x^2}}{\frac{c\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{ci}}}{\sqrt{\sqrt{4al+4bl}}}+\sqrt{c^2+x^2}}$$ pour la quantité du mouvement qu'il s'agit de rendre un *maximum*.

Il ne reſte par conſéquent qu'à prendre la différentielle de cette quantité & à l'égaler à zéro; on aura $3ax+bx-4x^2-2c^2=\frac{\overline{c^2+x^2}^{\frac{1}{2}}\times 2\sqrt{\sqrt{4al+4bl}}}{c\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{ci}}}$, & on trouvera dans cette équation, ſi on ſupoſe comme ci-devant que la longueur totale du Navire eſt de 144 pieds & ſa largeur de 40, que la ſaillie OG ou ND de la prouë doit être d'un peu plus de 44 pieds. D'où il ſuit que le corps NQ de la carène aura environ 32 pieds de longueur, & la poupe environ 68. On pourra obſerver à-peu-près les mêmes proportions dans tous les autres Navires.

Il n'eſt pas étonnant que la prouë ſe trouve un peu plus longue que lorſqu'elle eſt formée en pointe par deux plans verticaux qui font un angle. Car la longueur de la prouë dans cet autre cas ne contribuë au *maximum* du mouvement que par un ſeul chef, & elle y nuit au contraire par deux. Elle y contribuë en rendantl a prouë plus aiguë & en faiſant diminuer la réſiſtance del'eau, ce qui rend le ſillage un peu plus prompt. Au lieu qu'elle y nuit, 1°. En rendant moindre la capacité de la carène, & 2°. En faiſant diminuer la force qu'a le Navire pour porter la voile, ce qui cauſe donc auſſi quelque diminution ſur la viteſſe du ſillage. Ce n'eſt pas la même choſe dans le cas préſent; la force qu'a le Navire pour ſoutenir la voile, eſt conſtante, puiſque la figure & l'étenduë de la coupe horiſontale DEFG de la carène ne changent pas. C'eſt pourquoi on trouve de l'a-

Fig. 122. vantage à allonger un peu plus la prouë; on diminuë un peu de la capacité de la cale; mais on gagne plus à proportion sur la vitesse de la marche. Au surplus si on adoucit les arrêtes du Navire de la figure 122, on aura presque la forme des Flutes Hollandoises; à cela près que ces Flutes n'ont pas tant de *façons* ou que leur prouë a moins de saillie; ce qui nous montre que si les Nations Septentrionales ont le plus approché de la perfection à l'égard des bâtimens de charge, elles ne l'ont cependant pas entierement atteinte. Elles ont manqué le *maximum* du mouvement en rendant la capacité de leur Navire trop grande, & en faisant trop diminuer la promptitude du sillage. Les grandes façons de notre Flute feront encore qu'elle dérivera assez peu, pourvû qu'on prolonge suffisamment sa quille audessous de la prouë, en donnant à l'étrave une situation plus verticale. Nous avons déja averti de la nécessité de conserver cette partie qui n'est pas exprimée dans la figure que nous avons actuellement sous les yeux, mais qui l'est dans plusieurs autres & principalement dans la vingt-cinquiéme. En un mot, nous ne faisons pas difficulté de dire que nous croyons avoir obtenu par cette seconde solution, la forme la plus parfaite qu'on puisse donner aux Navires de transport, lorsqu'il n'y a point de raisons particulieres pour insister plus ou moins sur une proprieté ou sur l'autre; sur celle qu'ils doivent avoir de porter une grande charge, ou sur celle de marcher avec vitesse. Il est absolument nécessaire de mettre ici cette restriction: car si une Flute n'est destinée qu'à faire des voyages dans une certaine saison, sans qu'on puisse les multiplier, & que cependant on ait du tems de reste; il est évident que ce n'est plus le cas dont il s'agit dans notre Problême. On doit alors renoncer au *maximum* du mouvement, pour se raprocher de la construction Hollandoise, en augmentant la grandeur de la cale.

Digitized by Google

Fig. 122.

III.

Méthode particuliere de former les Vaisseaux de Guerre & les Frégates.

On pourra donner avec avantage cette même forme aux Vaisseaux de guerre; la rectitude de leur flancs, comme nous l'avons dit dans le premier Livre, permettra de leur donner une nombreuse artillerie; leur pont ou tillac sera non-seulement très-vaste, il sera également large par tout; ce qui est extrêmement avantageux: & malgré cela ces Vaisseaux marcheront avec la plus grande vitesse, si on leur donne les voiles qu'ils pourront porter. La partie dont nous avons parlé plus haut qui est marquée par BCF dans la figure 25, ne peut nuire à la rapidité du sillage que par la seule résistance qu'éprouve son extremité ou l'épaisseur de l'étrave: cette résistance sera toujours peu considerable dans tous les Navires; & si on vouloit la détruire presqu'entierement, il n'y auroit qu'à former l'étrave en couteau, & garnir de fer son tranchant, pour qu'il ne s'émoussât pas.

Rien n'empêchera aussi, lorsque le poids des parties supérieures le permettra, de suprimer entierement le tronc de la carène qui sépare l'avant de l'arriere. Les deux plans inclinés qui formeront la prouë & la poupe, partiront ensuite en bas du même point; ils seront d'autant plus inclinés que le Navire sera plus long par raport à sa profondeur. On aura de cette sorte une Frégate ou une corvette qui ne paroîtra qu'ébauchée, mais dont il faudroit cependant faire quelques essais, pour sçavoir si elle n'est pas réellement préférable à toutes les autres; quoiqu'on se fonde en la proposant, sur la remarque faite à la fin du Chapitre IV. & qu'il semble qu'on n'ait en vûë que la seule commodité des Marins. C'est toujours un avantage dont elle jouira, & qu'il faut joindre aux autres, dont nous avons fait mention au commencement de l'article précé-

Digitized by Google

Fig. 111. dent, que le concours de toutes les directions du choc de l'eau, se fasse vers le milieu de la carène. On se souvient que c'est au-dessus de ce point que doit repondre l'effort total du vent sur les voiles : ainsi au lieu d'être obligé d'entasser, pour ainsi dire, les mâts les uns auprès des autres vers la prouë, on aura ici tout le champ nécessaire, on aura toute l'étenduë que fournit la longueur du Navire ; ce qui donnera également au Constructeur la facilité de bien disposer la mâture & de la rendre legere, en étendant plus les voiles dans le sens de la largeur que dans celui de la hauteur ; & aux Matelots la facilité d'executer en Mer toutes leurs manœuvres.

C'est principalement à l'égard de cette Frégate, qu'il faudra employer le moyen que nous avons indiqué à la fin du Livre précédent, pour remedier à la violence du tangage, en rassemblant presque tout le poids vers le milieu de la cale. On pourra non-seulement, lors qu'on adoucira les angles que forment entr'elles les diverses parties de la surface de la carène, se proposer de faire diminuer encore l'impulsion de l'eau sur la prouë ; on pourra gagner quelque chose en retrecissant le Navire par ses deux extrémités, pourvû que ce retrecissement n'aille pas trop loin. Si ces Bâtimens pechent par quelque endroit, c'est qu'ils seront plus propres à glisser sur l'eau qu'à la fendre, & que leur forme déterminera plutôt l'eau à passer par dessous la carène qu'à se retirer par les côtés : mais ce défaut n'est porté si loin dans les Chalands & dans les Bateaux qui navigent sur les rivieres, que parce qu'ils sont trop larges par raport à leur profondeur ; & qu'ils sont outre cela dénués de ces deux parties qui servent à lier la quille avec la prouë & la poupe, & qui se terminent à l'étrave & à l'étambot, placés presque verticalement. Il ne seroit enfin question, à ce qu'il nous paroît, que d'accoutumer ses yeux à de semblables figures ; tout se reduiroit à une seule forme dans la construction, & rien ne seroit ensuite plus simple que l'Architecture navale qui étoit auparavant si difficile.

CHAP.

Digitized by Google

CHAPITRE X.

Suite du Chapitre précédent : examen de la figure particuliere qu'il faut donner à la prouë des Navires de transport.

I.

MAIS malgré toutes nos recherches, nous n'avons encore trouvé que la forme générale du Navire de transport, ou les seules proportions qu'on doit mettre entre les diverses parties de sa carène; & nous ignorons toujours la figure propre de sa prouë, qui au lieu d'être terminée par un plan incliné, doit l'être par une surface courbe. La prouë formée par un plan incliné en avant réunit en même tems, comme nous l'avons montré, les deux proprietés d'éprouver la moindre résistance de la part de l'eau & de faire singler le Navire avec la plus grande rapidité; & ce plan incliné de plus selon selon le degré precis que nous venons de déterminer, fera que tout consideré, la quantité du transport sera la plus grande qu'il sera possible. Mais en substituant au plan une surface courbe, nous pouvons, en perdant quelque chose du côté de la promptitude du sillage, faire une plus grande acquisition sur la grandeur de la carène, & gagner par conséquent encore sur la quantité totale de la charge, en tant qu'elle est transportée. Cette surface courbe constituera une troisiéme espece de prouë, qu'on peut nommer celle *du plus grand mouvement* pour la distinguer des deux autres, de celle *de la moindre dérive* ou *de la moindre résistance*, & de celle *de la plus grande vitesse.* Il nous reste donc encore à tacher de découvrir la nature de cette derniere prouë, si nous voulons ne pas nous contenter d'une perfection universelle repanduë sur le total de la figure, & que nous prétendions

Fig. 122. que chaque partie du Navire de tranſport ſoit parfaite priſe ſéparement.

Nous nous hâtons de paſſer par les diſcuſſions préliminaires de la hauteur de la mâture, de l'étenduë des voiles, de la viteſſe du ſillage, &c. dont on voit aſſez la néceſſité indiſpenſable; pour venir plus promptement à l'intérieur même du Problême, ou à ce qui le diſtingue du précédent. Nous nommerons, ainſi que nous l'avons déja fait ailleurs, M la ſtabilité ou la force relative qu'à le Navire pour ſoutenir l'effort que fait le vent ſur la voile. On évaluera cette force en livres: & comme il n'en eſt qu'une certaine partie, comme la ſixiéme, par exemple, qui s'oppoſe à l'effort du vent, parce que le Navire ne doit jamais s'incliner tout-à-fait, nous déſignerons cette partie par fM qui doit donc être égale au moment de l'effort du vent; & ce qui donne l'équation $fM = \frac{1}{2} lh^2 i$. La hauteur des voiles eſt toujours indiquée par h, leur largeur par l, & l'effort abſolu du vent ſur chaque pied quarré de ſurface par i; ce qui donne lh pour l'étenduë des voiles; lhi pour l'effort abſolu du vent, & $\frac{1}{2} lh^2 i$ pour ſon moment. De cette équation $fM = \frac{1}{2} lh^2 i$, j'en déduis la hauteur des voiles $h = \sqrt{\frac{2fM}{li}}$, & leur étenduë $lh = \sqrt{\frac{2flM}{i}}$.

Je nomme de plus I l'impulſion totale directe de l'eau ſur la prouë, telle qu'elle nous eſt fournie immédiatement par les méthodes purement géométriques, lorſqu'on prend l'unité pour ſinus total: C'eſt-à-dire, que I déſigne l'étenduë de la ſurface plane qui recevroit la même impulſion, ſi elle étoit expoſée perpendiculairement au choc du fluide. Je la multiplie par la denſité D de l'eau & par le quarré v^2 de la viteſſe du ſillage: ce qui me donne $D \times I \times v^2$ pour l'impulſion complete ou phyſique, qui eſt parfaitement égale & parfaitement contraire à l'impulſion du vent ſur les voiles, lorſque le Navire a acquis ſon mouvement uniforme. Cette derniere impulſion eſt $\overline{V - v}^2$ $\sqrt{\frac{2flM}{i}}$ produit de l'etenduë $\sqrt{\frac{2flM}{i}}$ de la ſurface expoſée au

choc par la denſité I de l'air & par le quarré $\overline{V-v}^2$ de la viteſſe reſpective du vent ou de l'excès de la viteſſe V du vent ſur celle du Navire. Ainſi nous avons dans le cas de l'équilibre $D\times I\times v^2 = \overline{V-v}^2\sqrt{\frac{2fIM}{i}}$ dont nous déduiſons la viteſſe du Navire $v = \frac{V\sqrt{\sqrt{2fIM}}}{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}}+\sqrt{\sqrt{2fIM}}}$. Fig. 118.

Enfin je nomme P la peſanteur totale du Vaiſſeau, & la multipliant par la viteſſe que je viens de trouver, il me vient $\frac{V\times P\sqrt{\sqrt{2fIM}}}{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}}+\sqrt{\sqrt{2fIM}}}$ pour la quantité du *tranſport*, ou pour celle du mouvement. C'eſt cette quantité que nous voulons rendre un *maximum* : c'eſt pourquoi j'en prends la différentielle, en traitant la peſanteur P comme variable, de même que le moment ou la ſtabilité M, & l'impulſion I : & cette différentielle égalée à zéro, ſe réduit à
$$\frac{dP\sqrt{\sqrt{M}}}{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}}+\sqrt{\sqrt{2fIM}}} = \frac{\frac{1}{4}\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}}\times M\times P\times dI - \frac{1}{4}\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}}\times I\times P\times dM}{\sqrt{I}\times M^{\frac{3}{4}}\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}}+\sqrt{\sqrt{2fIM}}}^2}.$$
Ainſi il ne s'agit plus que d'aſſujettir à cette équation toute la courbure de la prouë ; & on n'y trouvera aucune difficulté auſſi-tôt qu'on fera attention à la maniere dont nous avons déja conſideré ci-devant les différentielles des quantités particulieres M & I dans le Chapitre VI.

II.

Supoſé que la prouë ſoit un conoïde formé par la révolution de la courbe RT (Fig. 119.) autour de ſon axe RS, Fig. 119. dont les abſciſſes ſont déſignées par x, pendant que les ordonnées de la courbe le ſont par y, on n'a qu'à conſiderer deux parties conſécutives & infiniment petites DH & HF de la ligne courbe & leur faire prendre la ſituation Dh, hF, en laiſſant les dy ou IH & FL conſtantes, & ne faiſant varier que les dx, de la petite quantité du ſecond genre H$h = ddx$. L'aire renfermée par la courbe ſe trouvera augmentée des deux petits triangles DHh, FHh dont l'éten-

Digitized by Google

Fig. 119. duë est $dyddx$, & si on la multiplie par la longueur du chemin de rotation que décrit son centre de gravité, pendant que la courbe engendre le conoïde, on aura l'anneau par lequel la pesanteur totale P est augmentée. J'exprime par δ & ϖ le raport du rayon à la demi-circonférence du cercle ; ce qui me donne $\frac{\varpi y}{\delta}$ pour le chemin de rotation, ou pour le pourtour du demi-anneau que forment les deux triangles DHh & HFf par leur demi-circonvolution autour de l'axe AC ou RS. Ainsi $\frac{\varpi}{\delta}\, ydyddx$ sera la solidité de cet anneau & ce sera en même tems la valeur que nous voulions obtenir, de la différentielle dP de la pesanteur P.

Le moment M, comme on le sçait, est égal à $\frac{2}{3}\int y^3dx$ ou aux deux tiers de l'espace RPG, lorsqu'on rend les ordonnées EM, GP, &c. de la nouvelle courbe RP égales aux cubes y^3 des ordonnées correspondantes ED, GF de la courbe qui forme le conoïde. Ainsi la différentielle dM sera égale aux deux tiers des deux petits triangles MNn & NPn qui naissent par le changement de disposition des petits côtés MN, NP de la courbe RP, en même tems qu'on fait changer la disposition des petits côtés de la courbe principale. Nous avons pour NO ou QP l'expression $3y^2dy$ différentielle de y^3 : multipliant $3y^2dy$ par N$n = ddx$, nous aurons $3y^2dyddx$ pour l'étenduë des deux petits triangles dont il s'agit ; & nous aurons donc $2y^2dyddx$ pour la valeur de la différentielle dM.

Il nous reste à chercher dI. Je prends l'unité pour sinus total & je remarque que l'angle IDH est égal à l'angle d'incidence de l'eau sur la petite partie DH ou sur toute la zone que forme DH par sa demi-révolution ; puisque le mouvement du sillage est censé se faire dans le sens exactement parallele à l'axe RS ou à DI. Nous trouverons donc le sinus de l'angle d'incidence par cette analogie

$$\sqrt{dx^2+dy^2} = \text{DH} = \sqrt{\overline{\text{DI}}^2+\overline{\text{IH}}^2} \,|\, dy = \text{HI} \,||\, 1 \,|\, \frac{dy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$$

& il n'y a qu'à en multiplier le quarré $\frac{dy^2}{dx^2+dy^2}$ par la couronne plane à laquelle se reduit la zone qui reçoit le choc, lorsqu'on la projette sur un plan perpendiculaire à l'axe. Cette couronne a pour circuit la demi-circonférence $\frac{cy}{r}$ dont l'ordonnée y est le rayon, & sa largeur est HI $= dy$. Ainsi l'impulsion relative, selon la détermination de l'axe que souffre la zone formée par la revolution du petit côté DH, est égale à $\frac{cydy^3}{r\times\overline{dx^2+dy^2}}$, & cette expression convient aussi à l'impulsion que reçoit la seconde zone formée par HF, suposé que dx & dy désignent HL & LF. Mais enfin lorsque les deux petits côtés DH & HF prendront la disposition Dh & hF, la petite impulsion $\frac{cydy^3}{r\times\overline{dx^2+dy^2}}$ augmentera à l'égard d'une des petites zones & diminuera à l'égard de l'autre. Le changement particulier à l'égard de chacune sera $\frac{2cydy^3dxddx}{r\times\overline{dy^2+dx^2}^2}$; d'où il suit que le changement sur les deux sera $\frac{2cydy^3dxddx}{r\times\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{2cydy^3dxddx}{r\times\overline{dy^2+dx^2}^2}$ & c'est la valeur de dI dont nous avions besoin en dernier lieu.

Ainsi rien ne nous empêche maintenant de transformer la premiere équation du Problême $\frac{dP\sqrt{\sqrt{M}}}{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times M\times P\times dI - \frac{1}{4}\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times I\times P\times dM}{\sqrt{I}\times M^{\frac{3}{4}}\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}^2}$ en cette autre ....

$$\frac{\frac{c}{r}ydyddx\sqrt{\sqrt{M}}}{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}} =$$

$$\frac{\frac{1}{2}\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times M\times P\times\overline{\frac{2cydy^3dxddx}{r\times\overline{dy^2+dx^2}^2}-\frac{2cydy^3dxddx}{r\times\overline{dy^2+dx^2}^2}} - \frac{1}{4}\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times I\times P\times 2y^2dyddx}{\sqrt{I}\times M^{\frac{3}{4}}\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}^2}$$

qui se change par la transposition, & lorsqu'on multiplie

Fig. 119.

Digitized by Google

Fig. 119. par $\sqrt{I} \times M^{\frac{3}{4}} \times \overline{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\sqrt{I}}}}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}^2$ & qu'on divise par ddx, en $\frac{\varpi}{3}\, ydy \times M\sqrt{I} \times \overline{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\sqrt{I}}}}+\sqrt{\sqrt{2flM}}} + \frac{1}{2}\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times I \times P \times y^2 dy = \sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times M \times P \times \overline{\frac{\varpi y dy^3 dx}{s \times \overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{\varpi y dy^3 dx}{s \times \overline{dy^2+dx^2}^2}}$ qui doit regner sur toutes les parties de la courbe RT du conoïde que nous voulons déterminer. J'integre cette derniere équation, en remarquant que la quantité $\frac{\varpi y dy^3 dx}{s \times \overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{\varpi y dy^3 dx}{s \times \overline{dy^2+dx^2}^2}$ contenuë dans le second membre est la différentielle de $\frac{\varpi y dy^3 dx}{s \times \overline{dy^2+dx^2}^2}$, puis qu'elle est l'excès de la grandeur $\frac{\varpi y dy^3 dx}{s \times \overline{dy^2+dx^2}^2}$ qui apartient à une des zones sur la même grandeur qui apartient à la zone immédiatement suivante. L'équation prend par l'intégration, sans qu'il soit nécessaire d'y rien ajouter, la forme ordinaire des équations différentielles, $\frac{\varpi}{2s}\, y^2 \times M\sqrt{I} \times \overline{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\sqrt{I}}}}+\sqrt{\sqrt{2flM}}} + \frac{1}{6}\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times I \times P \times y^3 = \sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times M \times P \times \frac{\varpi y dy^3 dx}{s \times \overline{dy^2+dx^2}^2}$ qui se reduit à $3\varpi y \times M\sqrt{I} \times \overline{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\sqrt{I}}}}+\sqrt{\sqrt{2flM}}} + s\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times I \times P \times y^2 = 6\varpi\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times M \times P \times \frac{dy^3 dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$; & si on prend une variable z qui soit telle par raport à la constante a, que $dx = \frac{zdy}{a}$, on trouvera $y = -\frac{3\varpi M \times \sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\sqrt{I}}}}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}{2s\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\sqrt{I}}}} \times P} + \sqrt{\frac{9\varpi^2 M^2 \times \overline{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\sqrt{I}}}}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}^2}{4s^2\sqrt{i} \times D \times I \times P^2} + \frac{6\varpi M \times a^3 z}{s \times I \times \overline{a^2+z^2}^2}}$. Il ne reste plus après cela qu'à chercher en différentiant, la valeur de dy & à l'introduire dans l'équation $dx = \frac{zdy}{a}$, pour avoir dx. Il vient $x =$

$$\int \frac{\frac{3\pi M}{r \times I} \times \frac{a^4 z dz - 3a^2 z^3 dz}{\overline{a^2 + z^2}^3}}{\sqrt{\frac{9\pi^2 M^2 \times \overline{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I} + \sqrt{\sqrt{2flM}}}}^2}{4r^2 \sqrt{i} \times D \times I \times P^2} + \frac{6\pi M a^3 z}{r \times I \times \overline{a^2 + z^2}^2}}}.$$ Ainsi on a donc la relation par raport à z des abſciſſes x & des ordonnées y du conoïde le plus ſimple, qui eſt propre à former *la prouë du plus grand mouvement*. Il eſt évident qu'on pourra toujours trouver autant de différentes valeurs de ces abſciſſes & de ces ordonnées, qu'on attribuera de diverſes grandeurs à la variable z.

III.

Le Problême ſera incomparablement moins compliqué dans le cas qui nous intereſſe particulierement, ou lorſque la prouë au lieu d'être un conoïde, ſera ſimplement terminée par une ſurface courbe de haut en bas & inclinée en avant, comme nous le ſouhaitons à l'égard du Navire de la figure 122. Alors la différentielle dM ſera nulle, puiſque la figure de la prouë ne changera rien aux largeurs du Navire. Les deux autres différentielles dP & dI ſubſiſteront toujours ; mais elles ſeront plus ſimples. Je n'ai que faire d'avertir que la prouë étant terminée par une ſurface DP, la ligne droite GP deviendra courbe, & que x déſigne les abſciſſes ou parties de ſon axe GO & y ſes ordonnées qui ſont verticales & paralleles à OP. Cela ſupoſé, la différentielle dP de la peſanteur P, au lieu d'être égale à $\frac{\pi}{r} ydyddx$ ſera ſimplement égale à $2cdyddx$; c'eſt-à-dire, à l'étenduë des deux petits triangles $dyddx$ que produit le renflement de la prouë ou le changement de diſpoſition des deux petits côtés conſecutifs de GP devenuë ligne courbe, multipliée par DG ou par $2c$, qui eſt la largeur de la carène. Par la même raiſon l'impulſion ſur une zone, qui étoit $\frac{\pi y dy^3}{r \times \overline{dx^2 + dy^2}}$ lorſque cette zone étoit circulaire,

Fig. 122.

Fig. 122. sera actuellement $\frac{2cdy^3}{dy^2+dx^2}$. Le sinus de l'angle d'incidence est le même, mais la zone étant rectiligne dans le sens horisontal & ayant pour longueur la largeur $2c$ de la prouë, il faut multiplier le quarré du sinus de l'angle d'incidence par $2cdy$ pour avoir l'impulsion relative directe $\frac{2cdy^3}{dy^2+dx^2}$ selon le sens de l'axe. Il suit de là que la différentielle dI, est $\frac{4cdy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{4cdy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$, & si on introduit ces nouvelles différentielles dans la premiere équation, on aura

$$\frac{2cdyddx\surd\surd M}{\surd\surd i\surd D\surd I + \surd\surd \overline{2flM}} = \frac{2c\surd\surd i\surd D\times M\times P}{\surd I\times M^{\frac{1}{4}}\times\overline{\surd\surd i\surd D\surd I + \surd\surd 2flM}^2} \times \frac{dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{dv^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$$

qui se reduit par des opérations semblables à celles que nous avons employées il n'y a qu'un moment, à $y\surd I\times\overline{\surd\surd i\surd D\surd I + \surd\surd 2flM} = \surd\surd i\surd D \times P\times\frac{dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$. Introduisant ensuite $\frac{zdy}{a}$ à la place de dx, on a $y = \frac{\surd\surd i\surd D\times P}{\surd\surd i\surd D\times I + \surd I\,\surd\surd \overline{2flM}} \times \frac{a^3z}{\overline{a^2+z^2}^2}$; d'où repassant à dx, on trouve $x = \frac{\surd\surd i\surd D\times P}{\surd\surd i\surd D\times I + \surd I\surd\surd\overline{2flM}}\int\frac{a^4zdz - 3a^2z^3dz}{\overline{a^2+z^2}^2}$; ce qui resout entierement la question, & ce qui oblige simplement d'avoir recours aux logarithmes ou à la quadrature de l'hyperbole.

Nous avons saisi exprès pour en faire l'origine de notre courbe le terme où la quantité $\frac{a^3z}{\overline{a^2+z}^2}$ est égale à zéro: mais cette quantité en augmentant parvient à son *maximum*, lorsque $z = a\surd\frac{1}{3}$ & diminue ensuite; & si on prend ce *maximum* pour en faire l'origine de la courbe, le second membre de la formule $y = \frac{\surd\surd i\surd D\times P}{\surd\surd i\surd D\times I + \surd I\surd\surd\overline{2flM}} \times \frac{a^3z}{\overline{a^2+z^2}^2}$ ira

en

en diminuant à meſure qu'on fera augmenter z, & il faudra donc auſſi faire diminuer le premier membre. Il ſuffira pour cela de prendre e pour la plus grande valeur de y, ou pour l'ordonnée OP (Fig. 121.) & on aura alors $e - y = \frac{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}} \times P}{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}} \times I + \sqrt{I}\sqrt{\sqrt{2flM}}} \times \frac{a^3 z}{\overline{a^2 + z^2}^2}$. On peut enter cette nouvelle courbe à l'extremité de la premiere: car la proprieté qu'elles ont eſt non-ſeulement commune à chaque partie, elle ſubſiſte encore lorſqu'on éloigne ou qu'on raproche la courbe de ſon axe, en changeant toutes ſes ordonnées d'une quantité égale. On le verra évidemment, auſſi-tôt qu'on fera attention que cette tranſpoſition ne change rien dans la loi qu'obſervent entr'elles les différentielles de la peſanteur P, de l'impulſion I, &c. J'ai non-ſeulement calculé les dimenſions de la courbe entiere en joignant les deux parties, j'ai ſuputé auſſi les impulſions que ſouffrent tous les arcs à commencer dès l'origine. Le tout eſt exprimé dans la Table ſuivante, mais il faut ſe reſſouvenir que c'eſt en milliémes de l'unité. Fig. 122.

Digitized by Google

Fig. 122.

TABLE

Des dimensions de la prouë du plus grand mouvement.

Abscisses ou longueurs de l'axe de la prouë.	Ordonnées ou profondeurs de la prouë.	Impulsions.	Abscisses ou longueurs de l'axe de la prouë.	Ordonnées ou profondeurs de la prouë.	Impulsions.
0	0	0	259	508	397
1	50	50	284	524	402
5	98	97	307	538	406
18	185	182	328	550	409
35	252	245	349	561	411
50	297	285	365	570	413
61	320	304	381	578	414
63	325	308	412	592	417
69	335	316	437	602	418
83	352	327	457	610	419
102	375	340	486	620	420
126	400	354	511	628	421
152	425	365	541	636	422
179	448	375	586	645	422
206	470	384	612	649	422
233	490	391	628	650	422

On juge assez que c'est le coëfficient $\frac{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times P}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times I+\sqrt{I\sqrt{\sqrt{2fIM}}}}$ qui multipliant également la valeur des abscisses & des ordonnées, regle le choix qu'on doit faire des diverses parties de la courbe. Si on évaluë tout en pieds de Roy & en livres, on pourra mettre à la place de i, de D, de l les mêmes nombres que dans le Chapitre précédent. Le moment M doit être multiplié par 72 livres qui est le poids du pied cubique d'eau de mer, & comme il n'y a guere que la sixiéme partie de ce moment qui fasse effet, on aura 12M pour fM, & par conséquent $f=12$. Il ne sera pas difficile non plus de trouver l'impulsion I; on y réussira par une simple analogie. Suposé qu'on veuille employer la par-

tie de la courbe qui eſt compriſe depuis l'ordonnée 550 jusqu'à l'ordonnée 602 ; cette partie ſouffre une impulſion qui eſt exprimée par 9, excès de 418 ſur 409 ; & ſi la plus grande ordonnée ou profondeur OP de la prouë eſt de 20 pieds, il faudra faire cette proportion ; 52 différence des ordonnées de la Table eſt à 20 pieds, comme 9 eſt à $\frac{36}{13}$ qu'il ne reſtera plus qu'à multiplier par la largeur (40) de la prouë, pour avoir l'impulſion I qui ſera de $138\frac{6}{13}$. Enfin il eſt évident qu'on n'aura trouvé la portion de la courbe dont on doit ſe ſervir, que lorſque la partie de l'ordonnée qui lui répond & qui eſt comme je l'ai dit exprimée dans la Table en milliémes de l'unité, donnera étant multipliée par $\frac{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times P}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times I+\sqrt{I}\sqrt{\sqrt{2fIM}}}$, le nombre de pieds que doit avoir effectivement la plus grande ordonnée ou profondeur OP. C'eſt à-peu-près cette partie que nous venons de déſigner & qui eſt compriſe entre les ordonnées marquées par 550 & 602, qui eſt propre pour la Flute de 144 pieds de longueur, de 40 de largeur & 20 de profondeur. Supoſé que cette Flute fut plus longue à proportion de ſes autres dimenſions, comme cela arrivera ordinairement, il faudroit emprunter une partie encore plus petite de la courbe pour ſervir de modele : car le coëfficient $\frac{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times P}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times I+\sqrt{I}\sqrt{\sqrt{2fIM}}}$ ſeroit plus grand, à cauſe de l'augmentation de P ; & ce ne ſeroit donc qu'en multipliant par une ordonnée plus petite de la Table, qu'on trouveroit comme on le doit, 20 pieds pour la valeur de OP. Alors la courbure de la ſurface de la prouë, qui eſt déja ſi peu conſidérable, le ſeroit encore moins ; & c'eſt ce qui eſt très-évident d'ailleurs. Il eſt clair que ſi le Navire étoit infiniment long, la convexité qu'on pourroit donner à la prouë ne procureroit aucune augmentation ſenſible à la capacité de ſa cale, pendant qu'elle feroit retarder ſenſiblement la viteſſe du ſillage : ainſi ſans rien gagner d'un côté, on perdroit de l'autre, & la quantité totale du mouvement ſe trouveroit plus petite. Il ſuit delà qu'il faudroit dans ce cas extrê-

Fig. 111.

Fig. 122. me s'arrêter exactement à la figure de la prouë de la moindre résistance ou de la plus grande vitesse, comme dans la figure 122. Mais on voit en même tems que dans tous les autres cas dans lesquels la prouë du plus grand mouvement differe de celle de la plus grande vitesse, la surface DP qui la termine ne doit prendre de la courbure que peu à peu, à mesure qu'on rend le Navire moins long, ou qu'on diminuë sa solidité. On peut au surplus négliger toujours, si on le veut, toute cette courbure, puisque la convexité qu'elle produit par raport à la ligne droite qui lui sert de corde, n'est jamais que la 48 ou la 50^{me}. partie de sa longueur.

IV.

Il est vrai que nous trouverions l'inflexion presque toujours un peu plus grande, si nous considerions la carène dans l'état d'heterogénéïté où elle est ordinairement. Car aussi-tôt qu'on rend un peu plus convexe la surface qui termine la prouë, il faut augmenter le lest; & sa pésanteur spécifique étant plus grande que celle de l'eau marine le nombre de fois n, la force relative qu'a le Navire pour soutenir la voile augmente, comme nous l'avons démontré dans la seconde Section du Livre précédent*, du produit de l'espace ajouté par le multiple $n-1$ de la quantité dont son centre de gravité est au-dessous de la surface du lest; quoique la coupe horisontale de la carène faite à fleur d'eau, ne change ni de figure ni d'étenduë. Ainsi c'est une raison de plus pour augmenter un peu plus le renflement de la prouë. Mais on doit remarquer que ce renflement effectué sur la seule extremité de la carène, ne peut jamais être considerable par raport à la solidité entiere du Navire, & qu'il s'en faut beaucoup qu'il puisse avoir les mêmes suites que lorsque l'espace est ajouté en même tems aux deux côtés du Vaisseau, & qu'il s'étend sur toute sa longueur par laquelle il se multiplie.

* Voyez l'art. 2 du Chap. 9.

Au reste, notre méthode n'est point arrêtée par cette difficulté. La petite augmentation dP que reçoit la pésanteur

Digitized by Google

ou la ſolidité du Navire par le petit excès de convexité de la ſurface qui termine la prouë, eſt $2cdyddx$, & ſi nous faiſons commencer pour plus de ſimplicité toutes les ordonnées y à la ſurface ſupérieure du leſt, nous aurons $\overline{n-1} \times y \times 2cdyddx$ pour la petite augmention que recevra le moment ou la force relative M qu'a le Navire pour ſoutenir la voile. Au lieu de regarder dM comme nulle, on n'a qu'à introduire $\overline{n-1} \times 2cydyddx$ à ſa place dans l'équation générale $\frac{dP\sqrt{\sqrt{M}}}{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times M\times P\times dI - \frac{1}{4}\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times I\times P\times dM}{\sqrt{I}\times M^{\frac{3}{4}}\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}^{2}}$, en même tems qu'on fera les autres ſubſtitutions. On trouvera $y =$

$$-\frac{4M\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}}{\overline{n-1}\times\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}\times P}+\sqrt{\frac{16M^2\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}^{2}}{\overline{n-1}^{2}\times\sqrt{i}\times D\times I\times P^2}+\frac{8M}{\overline{n-1}\times I}\times\frac{a^3z}{\overline{a^2+z^2}^{2}}}$$

& $x =$

$$\int\frac{\frac{4M}{\overline{n-1}\times I}\times\frac{a^4zdz-3a^2z^3dz}{\overline{a^2+z^2}^{2}}}{\sqrt{\frac{16M^2\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}^{2}}{\overline{n-1}^{2}\times\sqrt{i}\times D\times I\times P^2}+\frac{8M}{\overline{n-1}\times I}\times\frac{a^3z}{\overline{a^2+z^2}^{2}}}},$$

pour les ordonnées & les abſciſſes de la courbe qui eſt la correſpondante de celle que nous avons trouvée la premiere dans l'article précédent, mais qui ne convenoit qu'au ſeul cas particulier dans lequel la peſanteur totale du Vaiſſeau a le même centre de gravité que ſa carène, ou au moins dans lequel les nouveaux poids qu'il faut ajouter à la charge, lorſqu'on augmente la ſolidité de la carène, agiſſent toujours exactement dans le centre de gravité des eſpaces ajoutés. Nous n'avons encore que la partie de la courbe qui ſert à former la prouë au-deſſous de la ſurface du leſt ; mais il n'eſt pas plus difficile de déterminer l'autre. Il eſt remarquable que la prouë doive, dans la rigueur, avoir des

Fig. 121.

Digitized by Google

formes différentes, non-seulement selon les divers efforts du vent sur les voiles; mais aussi selon que la charge du Navire est d'une pesanteur spécifique, plus ou moins grande, & que son arrangement fait qu'elle monte plus ou moins haut dans la cale. Il est vrai que cette singularité en est moins une, depuis que nous avons vû quelque chose de semblable à l'égard de la figure de la poupe, & même à l'égard de la coupe du Navire faite perpendiculairement à sa longueur.

V.

Nous ajouterons une derniere remarque, qui est d'une trop grande importance pour que nous l'oublions, d'autant plus que nous avons promis de la faire. Nous travaillons toujours à faire diminuer la résistance que trouve la prouë à fendre l'eau, & à faire augmenter la stabilité du Navire ou la force qu'il a pour soutenir la voile. Si nous reussissons par ces deux moyens à rendre le sillage rapide, nous réussirons aussi à faire diminuer la dérive dans les routes obliques. Cependant elle pourroit ne pas diminuer autant qu'on le souhaite; parce que sa diminution ne répond qu'à la seule partie, qui dans les figures de même genre dépend de la moindre résistance de l'eau, & non pas à celle qui est causée par la plus grande stabilité du Navire. Cette derniere qualité est même presque toujours contraire à la proprieté que doit avoir le Navire de dériver peu: car le renflement de la carène dans les cas même où il est utile pour la marche, ne peut pas faire augmenter le moins du monde la résistance que trouve la prouë à fendre l'eau, sans faire augmenter au moins relativement la disposition qu'a le Navire à aller de côté. Ainsi il est à propos d'examiner toujours à part la quantité de la déviation, en cherchant l'obliquité de la route, pour une situation de voiles *donnée*. Il faut après tout reconnoître dans cette matiere des limites malgré soi, puisqu'on ne peut pas rendre la dérive nulle, quoiqu'on puisse toujours la faire diminuer de plus en plus.

Digitized by Google

CONCLUSION.

I.

Enfin après avoir ſatisfait autant qu'il nous a été poſſible à toutes les parties de l'engagement que nous avions pris, il ſera ſans doute convenable de réſumer ici, ſi non les principales choſes que nous avons expliquées, au moins celles qui ont raport à la figure du Navire. Nous ne feindrons pas de le repeter que nous croyons avoir donné des moyens infaillibles de ſe déterminer entre les différents avis des Conſtructeurs. On ne manquera plus déſormais de *criterium* pour diſtinguer le meilleur parti ou pour bien choiſir entre pluſieurs plans propoſés pour le même Navire. On ne ſe verra plus obligé de rien abandonner au hazard, en déférant à l'autorité ſi ſouvent trompeuſe d'une Pratique qui n'eſt que groſſiere.

Nous avons expliqué dans le ſecond Livre tout ce qui concerne le Vaiſſeau lorſqu'il flote en repos. On reconnoîtra ſi ſa péſanteur n'eſt pas trop grande par raport à la ſolidité de ſa carène, s'il aura aſſez de ſtabilité ou de force pour porter la voile, ſi ſa batterie inférieure ſera aſſez élevée au-deſſus de la mer; pendant que les regles que nous avons données dans le troiſiéme Livre & qu'on pourra reduire preſque toutes à des opérations purement graphiques, apprendront ſi le Navire doit ſingler avec viteſſe, s'il ſera ſujet à peu de dérive dans les routes obliques, s'il gouvernera avec facilité. On diſcutera de cette ſorte toutes les qualités du projet, en le mettant à l'épreuve d'un calcul qui ne coutera jamais que peu de travail. Les accidens même qui paroiſſent dépendre d'une cauſe plus irreguliere, ſeront ſoumis à la même regle : on a vû les moyens de déterminer la durée des balancemens du roulis; & quant à ceux du tangage on en jugera avec facilité, en examinant la diſtribution de la peſanteur, & la maniere dont elle eſt ſoutenue dans tous les cas particuliers.

Le Géometre laborieux ne tardera pas à se trouver dispensé par les connoissances de fait qu'il aura bien-tôt acquises, de recommencer continuellement ses suputations, ou de les pousser jusques dans le dernier détail. Il pourra outre cela faire quelques essais sur des Navires déja construits pour s'en servir comme de terme de comparaison. Ces experiences lui apprendront en un instant diverses choses qu'il auroit beaucoup plus de peine à découvrir par toute autre voye; & il lui suffira lorsqu'il s'agira de tout autre Vaisseau, de tenir compte de la différence ou de faire attention à toutes les causes nécessaires de changemens.

II.

Nous ne nous sommes pas bornés à distinguer entre un nombre toujours trop limité de projets ou de plans ceux qui ne sont peut-être que les moins mauvais: nous nous sommes proposés d'aller saisir dans l'infinité même de toutes les formes possibles celles qui sont absolument les meilleures. Lorsque la disposition de différentes parties, contribue à porter plus loin une certaine proprieté, nous avons cherché la combinaison la plus avantageuse, en déterminant le *maximum*. On pourra désormais faire prévaloir surement laquelle des proprietés on voudra, & on sçaura en même tems jusqu'à quel point sera portée chaque autre.

On a vu que la plus grande coupe, ou que l'endroit le plus gros de la carène doit se placer à environ $\frac{5}{12}$ de la longueur, à commencer de la prouë: c'est la position qu'on doit donner à cette coupe pour augmenter le plus qu'il se peut l'effet du gouvernail. Si on veut rendre le Navire plus facile à gouverner par le moyen des voiles, il faudra porter l'endroit le plus gros un peu plus vers l'avant; mais alors la prouë deviendra plus obtuse, & on préjudiciera en même tems & à la promptitude du sillage & à la proprieté que doit avoir le Navire d'être sujet à peu de dérive dans les routes obliques. On s'est assez convaincu, non pas de la simple difficulté, mais de l'impossibilité de satisfaire

satisfaire

Digitized by Google

ſatisfaire également à ces quatre conditions. Ne pouvant pas les concilier d'une maniere parfaite, il faut abſolument pour ne pas trop perdre d'un des avantages, ſe réſoudre à perdre auſſi un peu des autres; & il paroît que le parti le plus ſeur, eſt d'embraſſer ordinairement la diſpoſition qui favoriſe l'action du gouvernail, parce qu'elle tient une eſpece du milieu entre les autres.

On a expliqué dans le premier Livre pluſieurs methodes de tracer la coupe du Navire faite perpendiculairement à ſa longueur dans cet endroit le plus gros. Ces methodes peuvent ſervir; mais on les modifiera par les remarques que nous avons faites dans le ſecond & dans le troiſiéme Livre. Supoſé qu'on ne puiſſe pas ſe réſoudre à abandonner les pratiques ordinaires, & qu'on n'oſe pas aller tout d'un coup juſqu'au dernier terme du meilleur. Il eſt toujours à ſouhaiter que la carène ne ſoit que très-peu groſſe par raport à ſa longueur: la choſe eſt de la plus grande importance, & merite toute l'attention des Conſtructeurs. La coupe dans l'endroit le plus gros doit avoir la figure d'un trapeze qui deviendra un rectangle ou un triangle, dans les deux cas extrêmes. Elle doit être un triangle pour les Frégates les plus légeres, & on la fera en rectangle dans les bâtimens de tranſport, afin d'augmenter la grandeur de leur charge.

C'eſt par la même raiſon qu'il faut auſſi ſéparer dans ces derniers Navires la prouë de la poupe par une portion de la carène qui conſerve ſenſiblement la même groſſeur ſur une longueur conſiderable, & qui ſoit au moins un cinquiéme de celle du tout. Les regles vulgaires n'ont jamais mieux réuſſi que dans la conſtruction de ces ſortes de bâtimens: il ne reſte que très-peu à reformer ſur la figure des Flutes dont ſe ſervent les Nations Septentrionales; mais ces mêmes regles ont entierement manqué les Frégates & encore plus les Corvettes dont la prouë & la poupe doivent commencer à ſe retrecir ou à diminuer de groſſeur en partant même de la premiere coupe qui les ſépare. Les Navires de guerre tiennent comme le milieu entre les

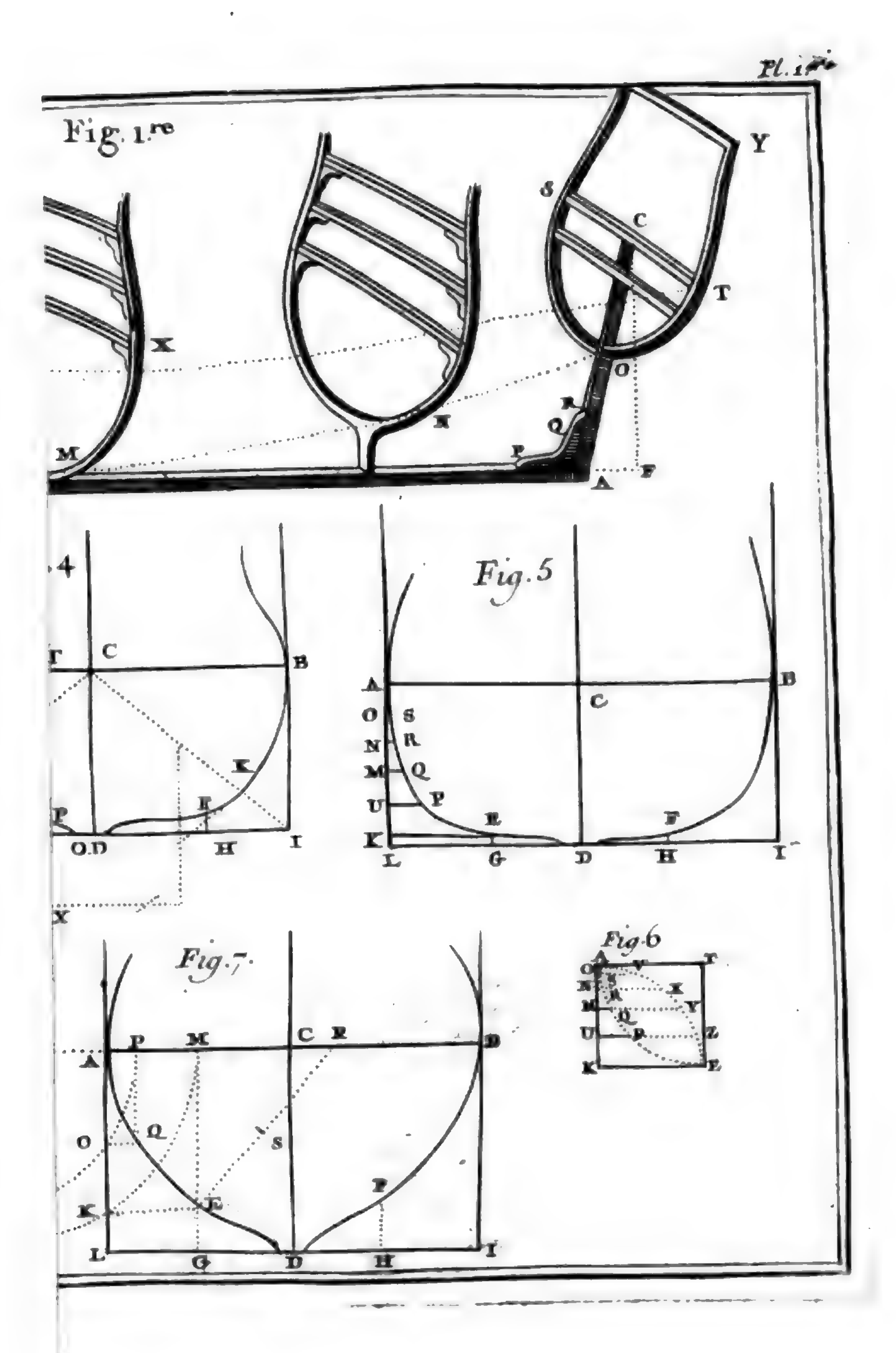
précédens; ce sont des bâtimens de charge, mais dont le grand poids est située d'une maniere aussi particuliere qu'incommode. Leur centre de gravité étant trop près de leur métacentre, il faut les rendre plus larges que les autres Navires; ce qui est également nécessaire pour le service de leur artillerie.

Les principales dimensions étant arrêtées, on conduira la courbure des *lisses* & on achevera l'ouvrage. On employera les methodes d'aproximation que nous avons indiquées dans le Chapitre XI de la premiere Section du premier Livre, ou bien on se conformera aux Tables que nous avons eu le soin de calculer & d'inserer dans la derniere Section de ce Traité, afin d'inviter encore mieux la pratique à recevoir toutes les instructions que lui offroit la Théorie. Nous ne disons rien de la mâture; ses dimensions auront été reglées d'avance. Enfin le Navire singlera non-seulement avec la plus grande vitesse, il navigera avec toute la sureté qui dépend du raport parfait qu'on pouvoit mettre entre toutes ses parties.

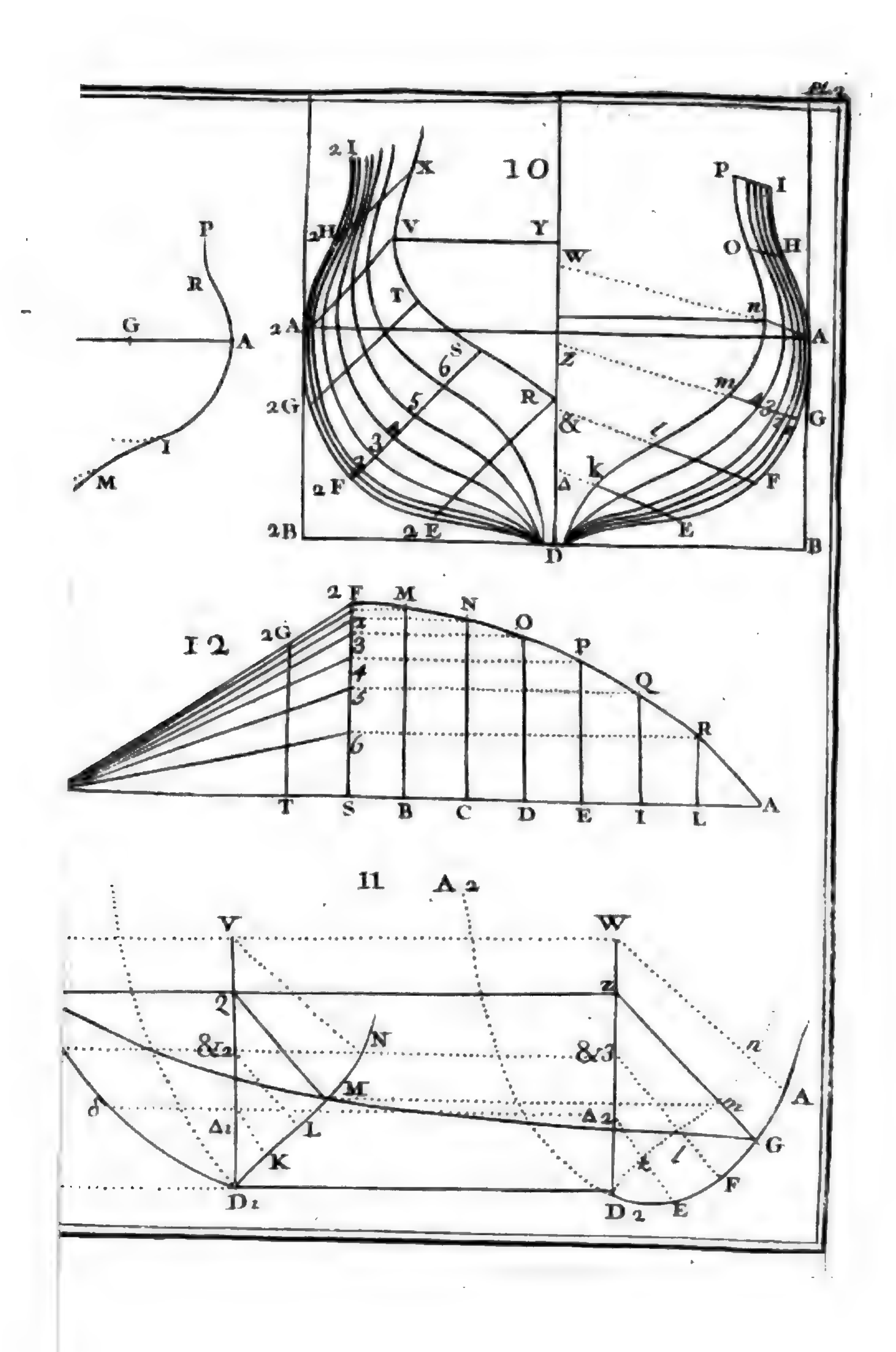
FIN.

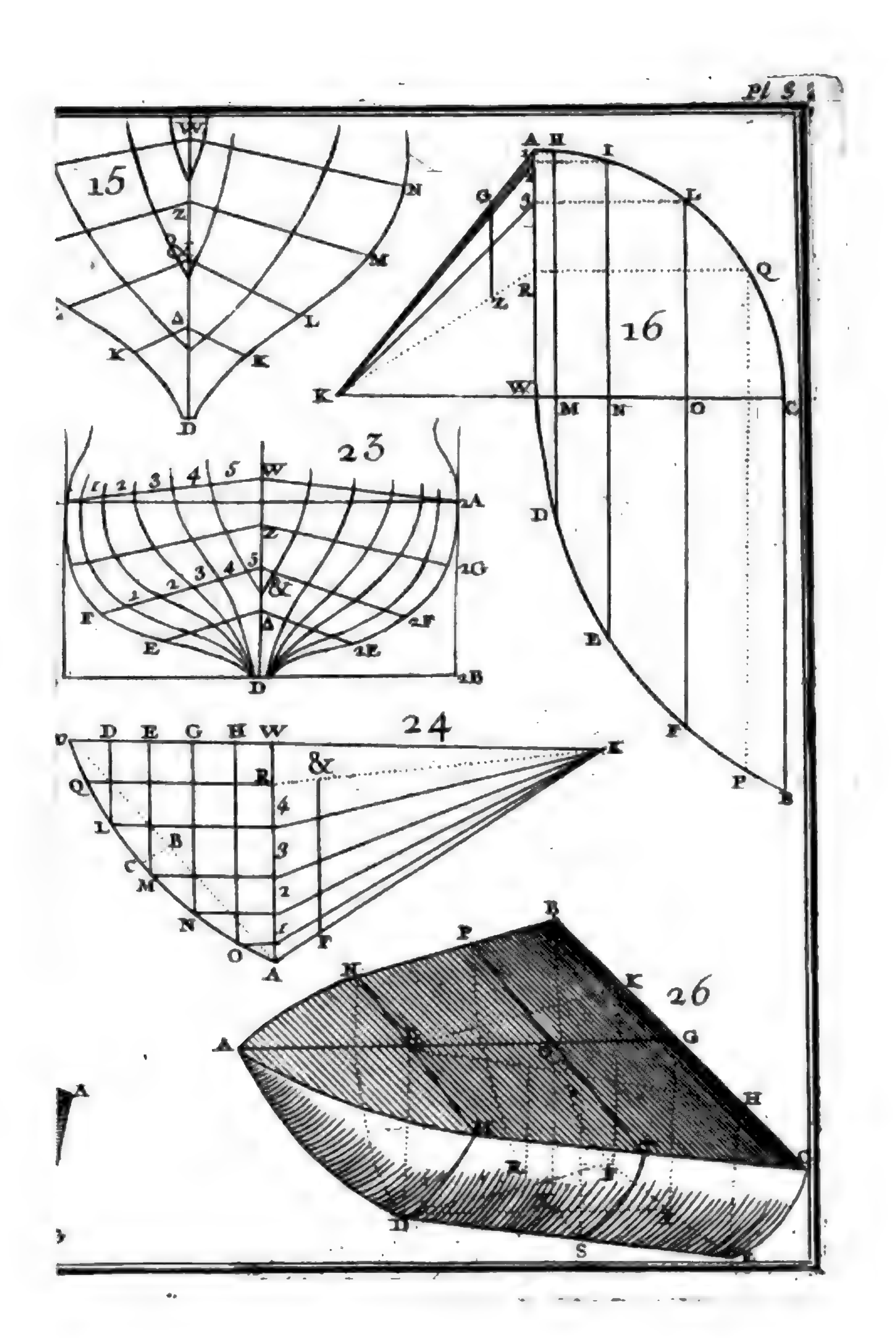
De l'imprimerie de J. CHARDON.

Digitized by Google

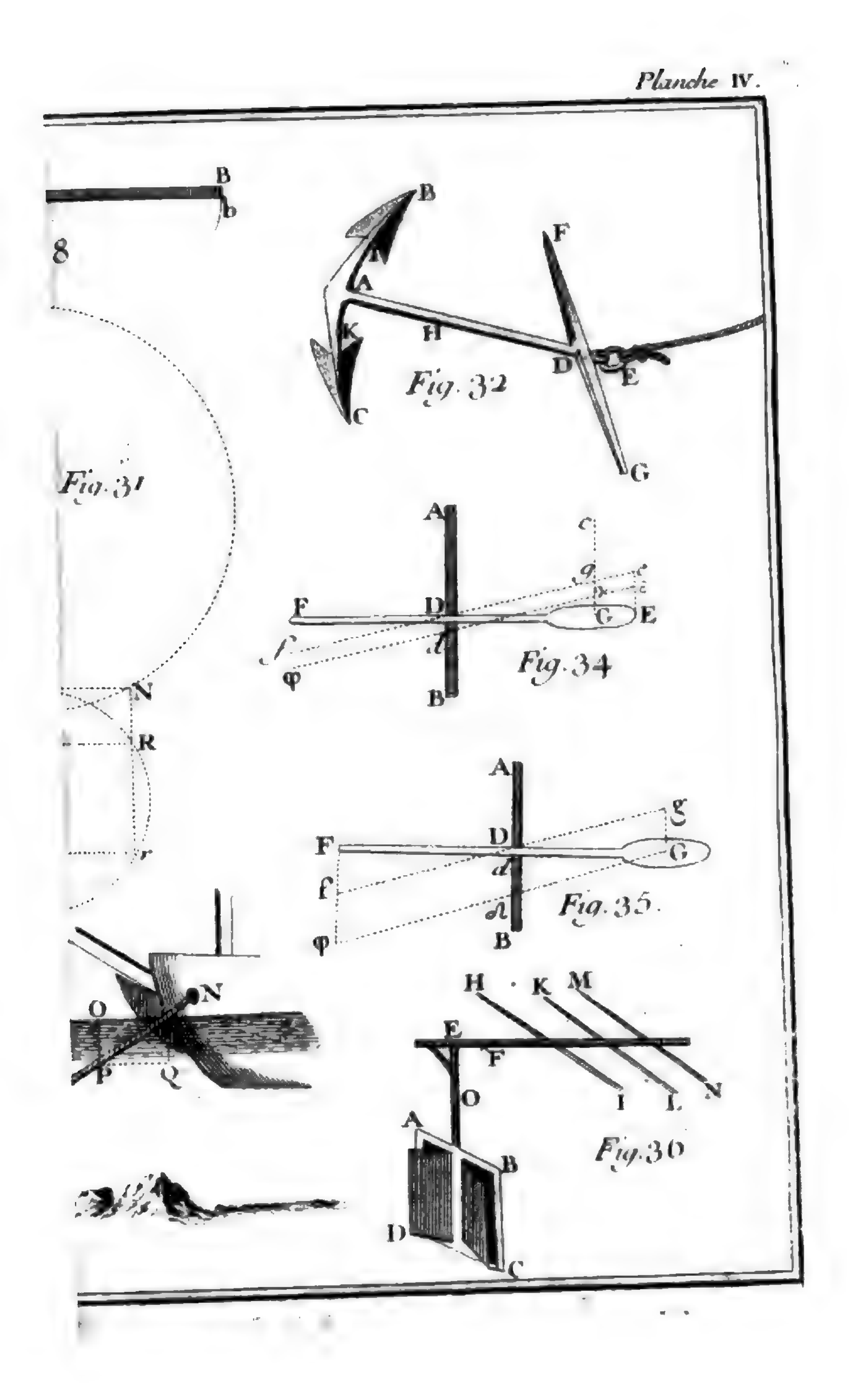

Pl. 1re
Fig. 1re
S Y C T X O N R Q M P A F
.4
C B K F P O.D H I X
Fig. 5
A B C O S N R M Q U P K E F L G D H I
Fig. 6
A V T O S N R X M Q Y U P Z K E
Fig. 7
A P M C R B O Q S K E F L G D H I

Digitized by Goog


10
12
11
A 2
2 I
X
2 H
V
Y
W
P
I
O
H
T
2 A
A
n
S
6
Z
2 G
5
R
m
G
&
4
3
l
k
2 F
Δ
F
2 B
2 E
E
D
B
M
N
Q
C
L
&2
&3
δ
Δ1
Δ2
K
D1
D2


15
16
23
24
26

Digitized by Google



Digitized by Google

Fig. 40

Fig. 43

Fig. 41

Fig. 46.

Fig. 42

Fig. 44.

Fig. 47

Fig. 45

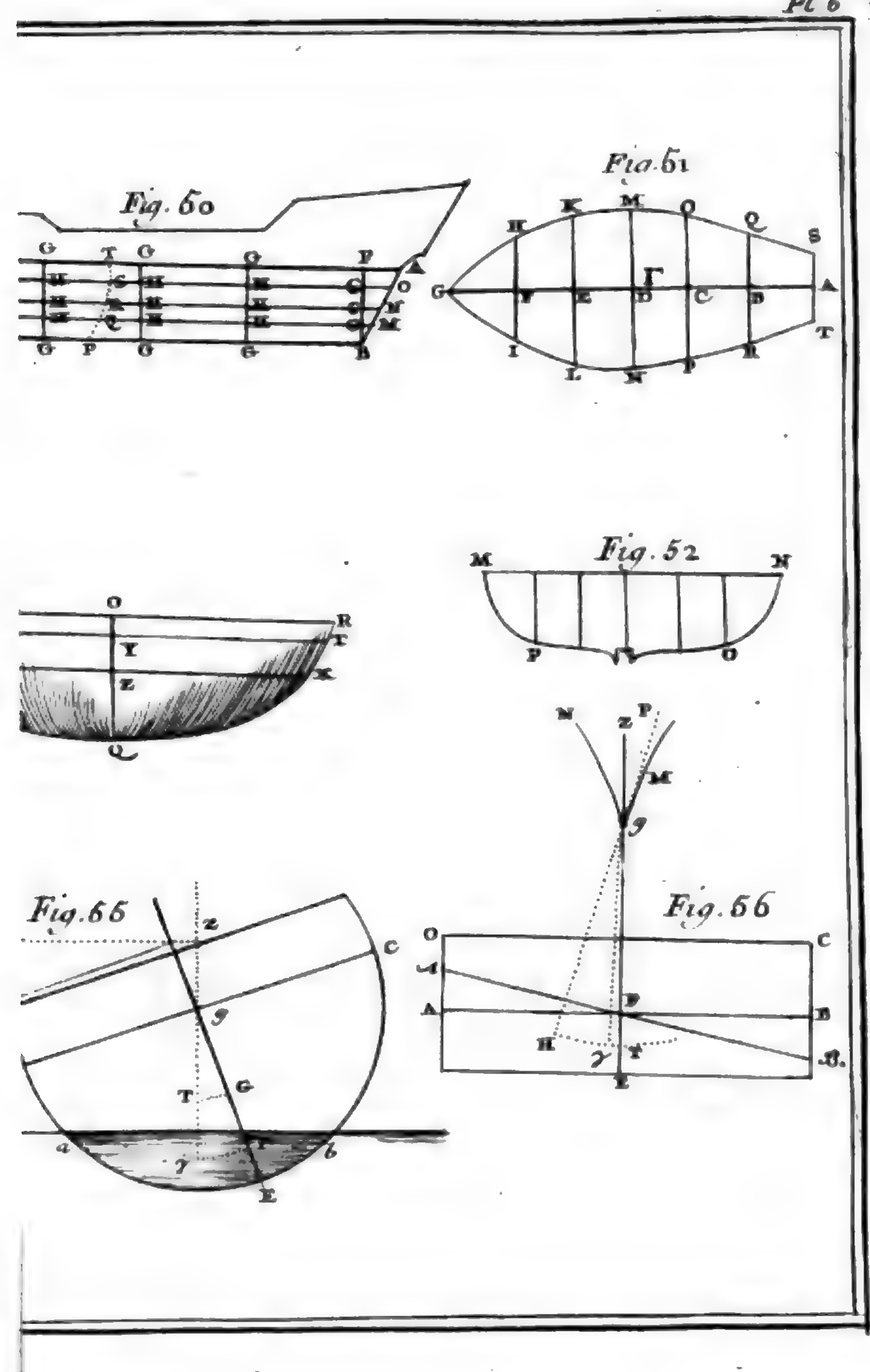
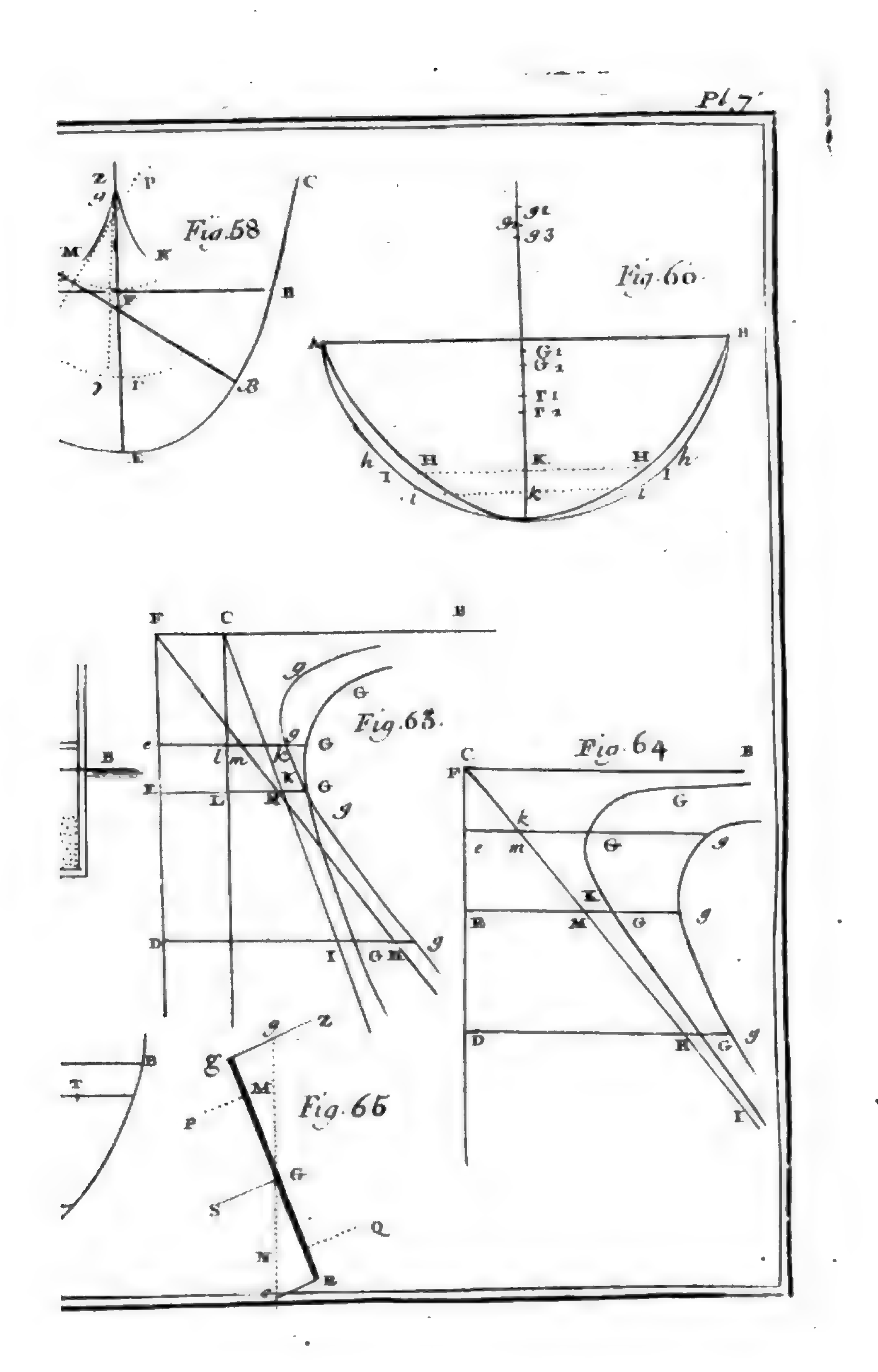


Fig. 50
Fig. 51
Fig. 52
Fig. 66
Fig. 66



Digitized by Google

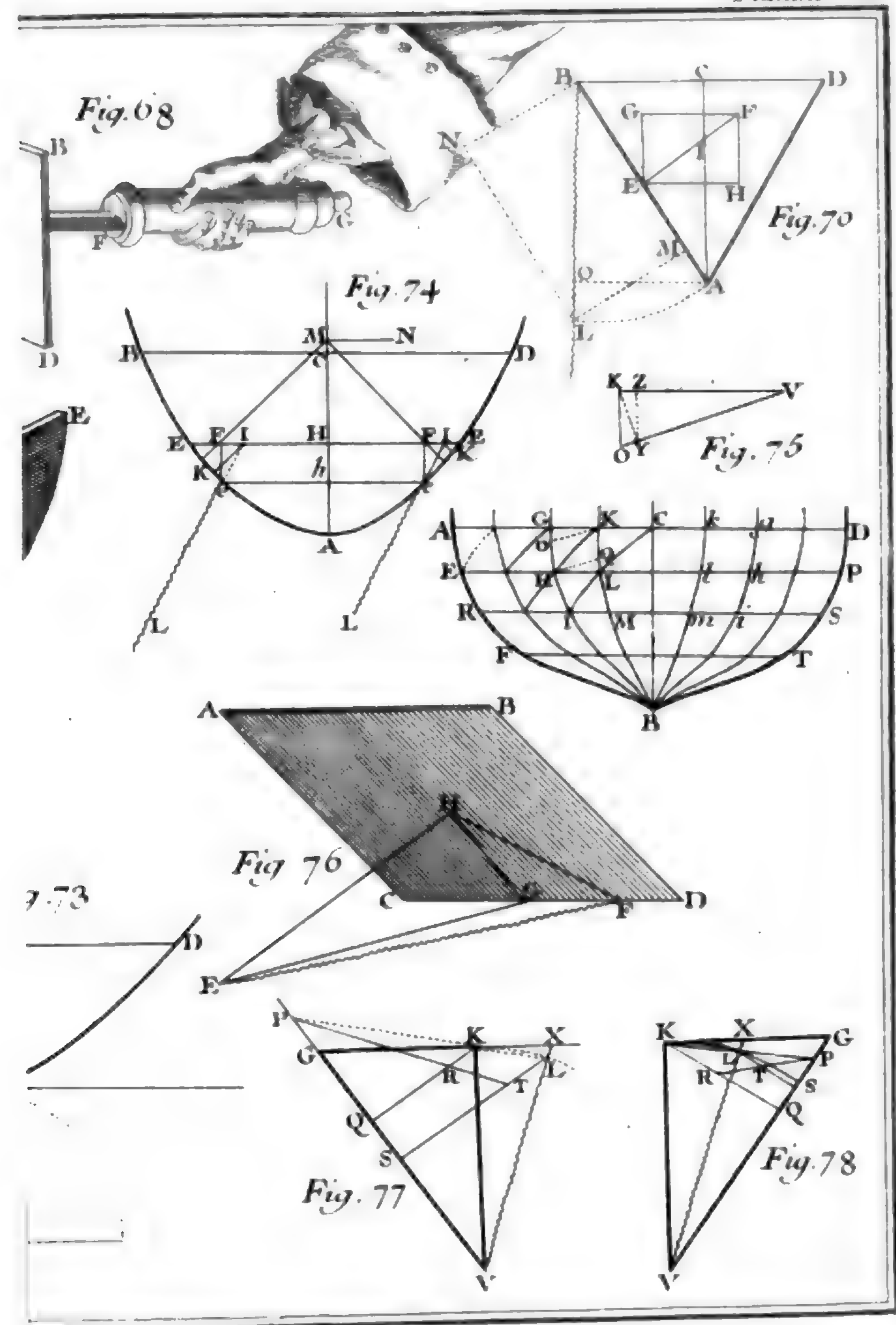
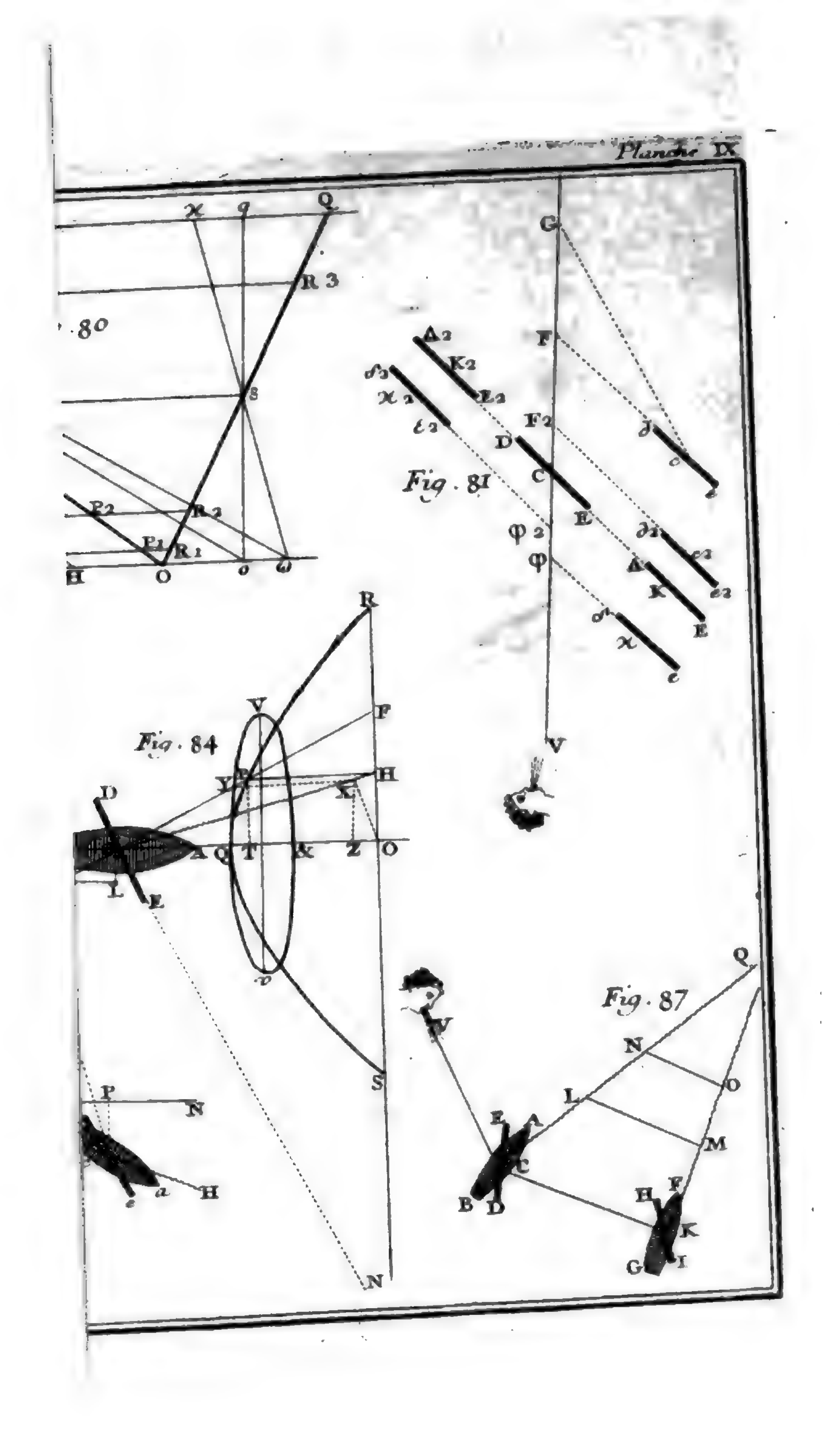


Fig. 68
Fig. 70
Fig. 74
Fig. 75
Fig 76
Fig. 77
Fig. 78



Digitized by Google

Digitized by Google

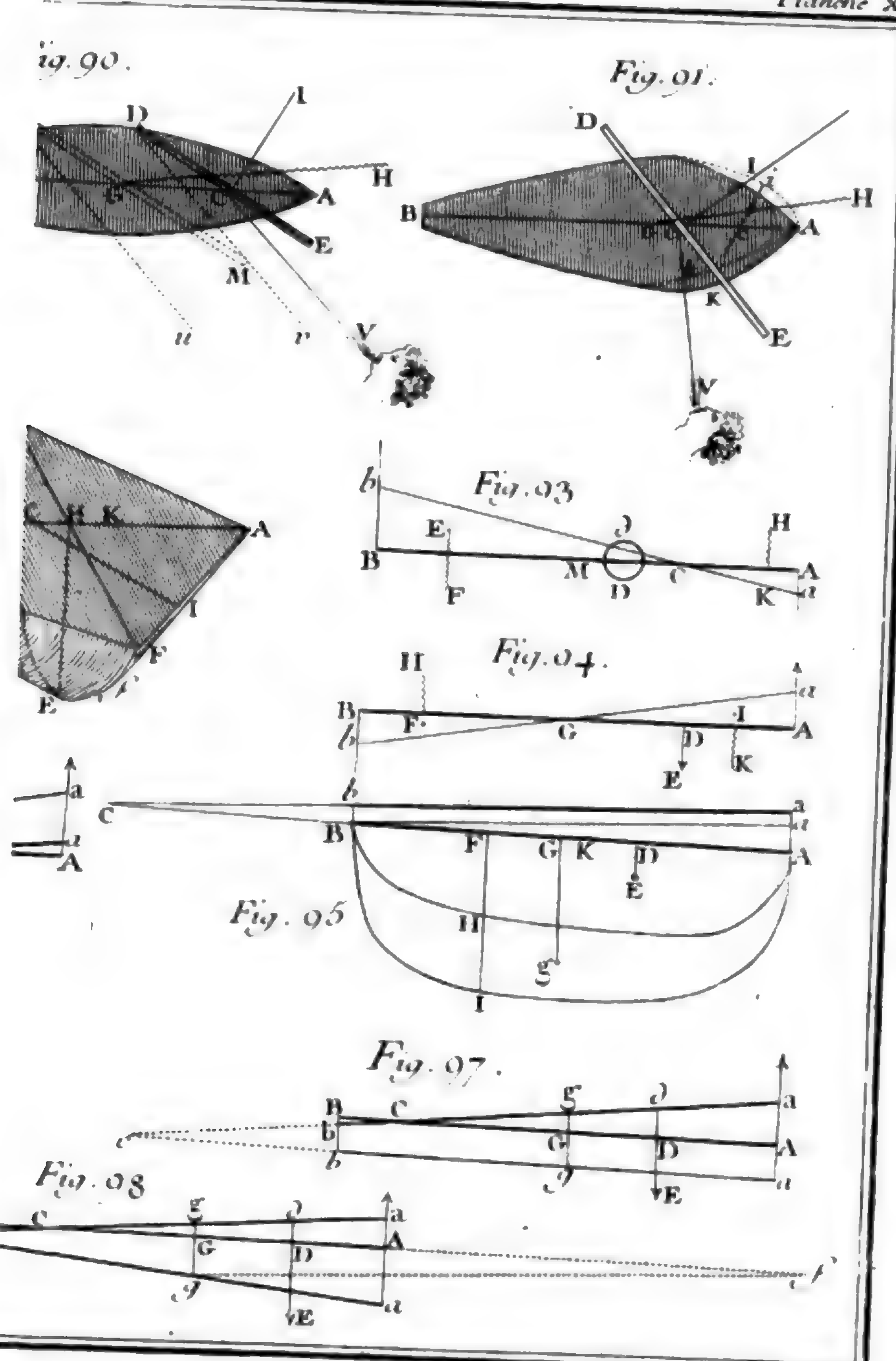


Fig. 90.
Fig. 91.
Fig. 93
Fig. 94.
Fig. 95
Fig. 97.
Fig. 98

Digitized by Google

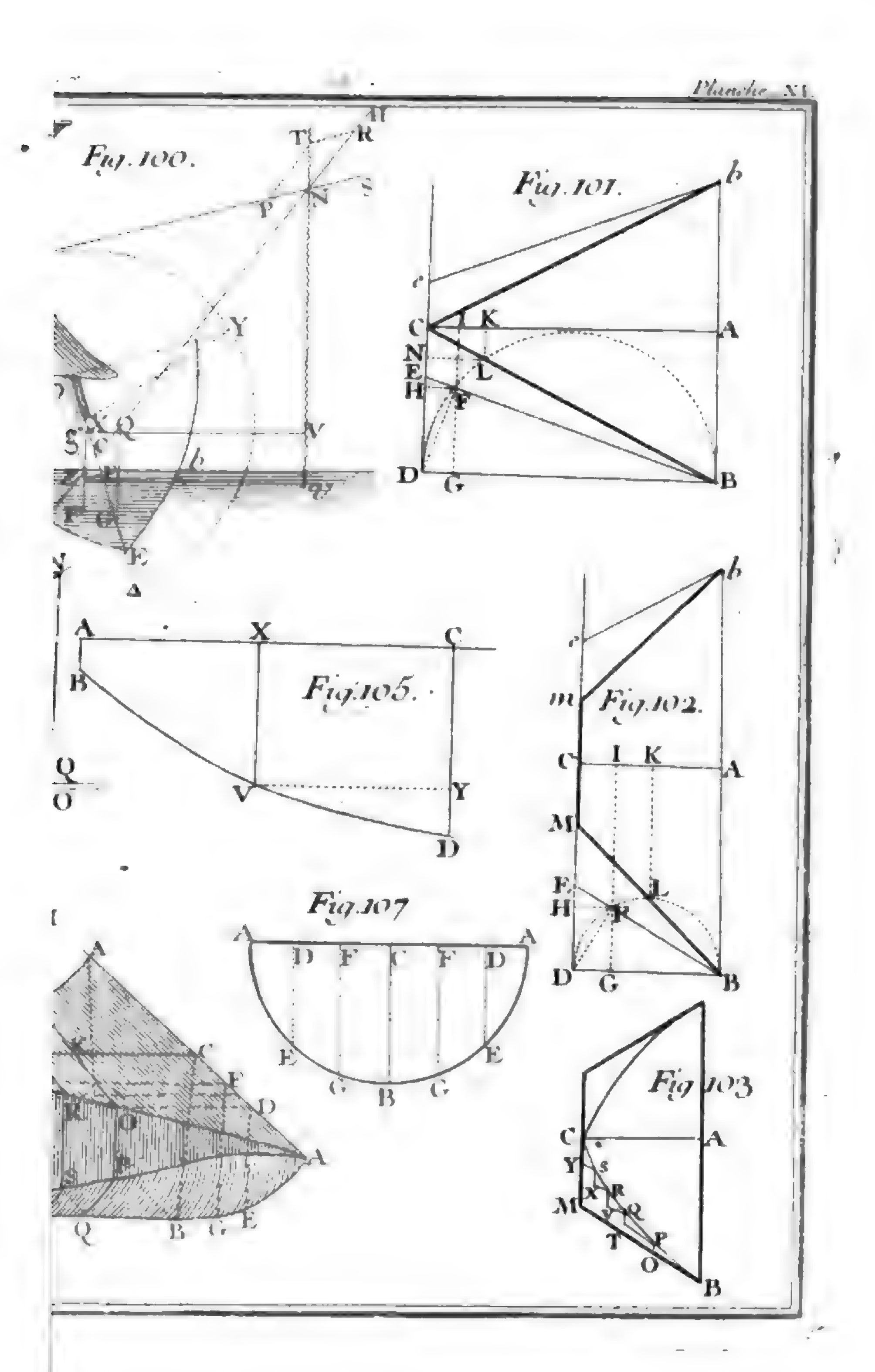


Fig. 100.
Fig. 101.
Fig. 102.
Fig 103
Fig. 105.
Fig. 107

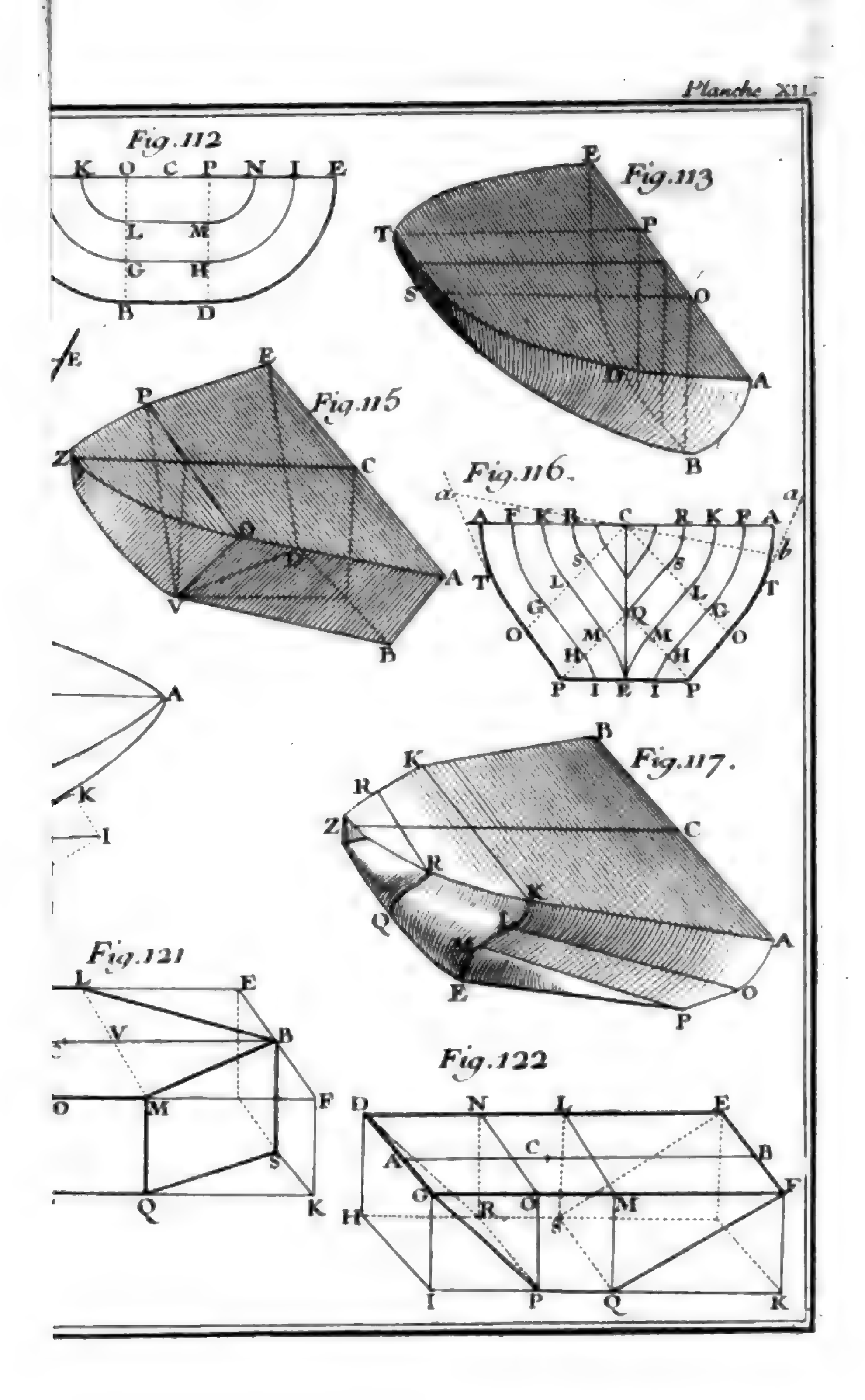


Fig. 112
K O C P N I E
L M
G H
B D
Fig. 113
E P T S O D A B
Fig. 115
E P Z C O D A V B
Fig. 116.
a A F K R C R K F A a
b
S S
T L L T
G Q G
O M M O
H H
P I E I P
Fig. 117.
B K R Z C R K Q L M A E O P
Fig. 121
L E V B O M F S Q K
Fig. 122
D N L E C A B G R O M F H I P Q K

CORRECTIONS A FAIRE.

PAge xxvij dans la Préface, ligne 4, *lisez* n'en est plus un.
15 ligne 7, par cette raison, *ajoutez* ou parce qu'on a souvent rendu les varangues de l'avant & de l'arriere, égales entr'elles, jusqu'à une certaine distance.
29 lig. 12, *effacés* ne.
39 lig. 20, *lisez* réussi aussi parfaitement.
49 lig. 22, *lisez* la coupe PmD.
64 lig. penultiéme, *lisez* irregulier.
64 lig. derniere *après le mot* rectangle, *ajoutez* & ce conoïde peut trouver un cinquiéme ou un quart plus de facilité à fendre l'eau que la prouë de la figure 21, dont l'étrave n'a point d'élancement.
70 lig. penultiéme, *lisez* l'extrémité D du corps de la carène.
75 lig. 33, *lisez* beaucoup plus sûre.
85 lig. 30, *lisez* lorsqu'il y en a un second.
Page 93 lig. 19, *lisez* verser de l'eau.
115 lig. derniere, *lisez* $\sqrt{\frac{1}{R}}$ est à $\sqrt{\frac{1}{P}}$.
153 lig. 33, *lisez* de la tête de chacune de.
154 lig. derniere, *lisez* à ces rectangles; & un.
158 lig. 30 & 31, *lisez* (Fig. 41.)
159 lig. 34, *lisez* à une force de.
160 lig. 18, *lisez* la lier avec.
161 lig. 20 & 21, *lisez* une autre considération.
163 lig. 10, *lisez* elle resistera 27 fois.
167 lig. 22, *lisez* on la.
182 lig. 29, *lisez* voile ABDC.
185 lig. 10, *lisez* à la puissance $\frac{4}{3}$;
190 lig. 30, *lisez* à former de faisseaux.
216 lig. penultiéme, *lisez* les uns au-dessus.
227 lig. 11, *lisez* c'est de.
233 lig. 6, *lisez*. On pourroit même pour.
243 lig. 7, *effacez* que.
244 lig. 3, *lisez* recueillies de toutes parts.
245 lig. 31, *lisez dans le second terme du numérateur de l'expression algébrique*, *+fe.*
247 lig. 2, *lisez* on a cette autre. Lig. 3 *lisez* l'étenduë A de la.
253 lig. 15, *lisez* & on mulipliera l'étenduë.

Page 255 lig, 28 , *lisez* que I.
257 lig. 21 & 30 , *lisez* verticale γZ.
259 lig. derniere , *lisez* le quatriéme.
263 ligne 14 , dans l'expression algébrique , *lisez* $\overline{FB}$.'
Page 266 ligne 3 , *lisez* difficile , ou plutôt il n'étoit pas possible que le.
ibid. lig. 5 & 6 , *effacez* , & qu'on eut sans doute l'attention de mettre en bas les choses les plus pesantes.
283 lig. 21 , *lisez* peu à peu.
311 lig. 15 *effacez* de la surface.
315 lig. 5 , *lisez* G1. Lig. 19 , *lisez* puisse soutenir le Navire.
316 lig. 18 , *lisez eg* , *Eg* d'une hyperbole. Ligne 27 , *lises* ou EG.
317 lig. 14, *lisez* CB & CI.
328 lig. derniere , *lisez* selon gZ.
337 , dans la note de la marge , *lisez* Chapitre IV.
357 lig. 20 , *lisez* avec moins de.
366 lig. 10 & 11 , *lisez* tiers de BC.
368 lig. antepenultiéme & penultiéme , *lisez.* Si nous considérons le.
377 lig. premiere , *lisez* on peut le. Lig. derniere à la fin , *lisez* de *n*° y.
408 lig. derniere , *ajoutez a la fin* , toutes les fois que nous voudrons choisir entre des proues de même genre.
415 lig. 11 , *lisez* la résistance directe ; lig. 12 la résistance latérale.
442 lig. 12 , *lisez* sa vraie direction.
468 lig. 3 & 4 *lisez* Chapitre VI.
516 lig. 19 , *lisez* ne change.
532 lig. 18 , *lisez* ou de 96.
537 lig. 32 , *lisez* ces deux efforts.
541 lig. 27 , *lisez* troisiéme Livre.
573 lig. 20 , *lisez* BE & EC.
579 lig. 11 , *lisez* la perpendiculaire.
605 lig. 26 , *lisez* XV.
621 lig. 19 & 20 *lisez* comme les *x* & les.
644 lig. 29 , *lisez* ait le plus de.
665 lig. antepenultiéme , *lisez* de cette troisiéme proue.
On a négligé d'indiquer quelques autres fautes ausquelles le Lecteur suplera par son attention.

Digitized by Google

Extrait des Registres de l'Académie Royale des Sciences du 12 May 1745.

MEssieurs Nicole & Clairaut qui avoient été nommés pour examiner un Ouvrage de M. Bouguer, intitulé, *Traité du Navire, de sa construction & de ses mouvemens*, en ayant fait leur rapport; l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de l'impression, en foy de quoi j'ai signé le present Certificat. A Paris ce 15 May 1745.

GRANDJEAN DE FOUCHY.

PRIVILEGE DU ROY.

LOUIS par la grace de Dieu Roy de France & de Navarre: A nos amez & feaux Conseillers, les Gens tenans nos Cours de Parlement, Maîtres des Requêtes ordinaires de notre Hôtel, Grand Conseil, Prevôt de Paris, Baillifs, Sénéchaux, leurs Lieutenans Civils, & autres nos Justiciers qu'il appartiendra, Salut. Notre bien amé & féal le *Sieur Jean-Paul Bignon, Conseiller ordinaire en notre Conseil d'Etat, & President de notre Academie Royale des Sciences*, Nous ayant fait très-humblement exposer, que depuis qu'il nous a plû donner à notredite Académie, par un Reglement nouveau, de nouvelles marques de notre affection, elle s'est appliquée avec plus de soin à cultiver les Sciences, qui sont l'objet de ses exercices; ensorte qu'outre les Ouvrages qu'elle a déja donnés au Public, elle seroit en état d'en produire encore d'autres, s'il nous plaisoit lui accorder de nouvelles Lettres de Privilege, attendu que celles que nous lui avons accordées en datte du 6 Avril 1699. n'ayant point de tems limité, ont été déclarées nulles par un Arrêt de notre Conseil d'Etat du 13 Août 1713. Et désirant donner au Sieur Exposant toutes les facilités & les moyens qui peuvent contribuer à rendre utiles au Public les travaux de notredite Académie Royale des Sciences, Nous avons permis & permettons par ces Présentes à ladite Académie, de faire imprimer, vendre ou débiter dans tous les lieux de notre obéissance, par tel Imprimeur qu'elle voudra choisir, en telle forme, marge, caractere, & autant de fois que bon lui semblera, *toutes ses Recherches ou Observations journalieres, & Relations annuelles de tout ce qui aura été fait dans les Assemblées*, comme aussi *les Ouvrages, Memoires ou Traites de chacun des Particuliers qui la composent*, & généralement tout ce que ladite Académie voudra faire paroître sous son nom, après avoir fait examiner lesdits Ouvrages, & jugé qu'ils sont dignes de l'impression; & ce pendant le tems de quinze années consécutives, à compter du jour de la datte desdites Présentes. Faisons défenses à toutes sortes de personnes de quelque qualité & condition qu'elles soient, d'en introduire d'impression étrangere dans au-

cun lieu de notre Royaume ; comme aussi à tous imprimeurs, Libraires & autres, d'imprimer, faire imprimer, vendre, faire vendre, débiter ni contrefaire aucun desdits Ouvrages imprimés par l'Imprimeur de ladite Académie ; en tout ni en partie, par extrait ou autrement, sans le consentement par écrit de ladite Académie, ou de ceux qui auront droit d'eux : à peine contre chacun des contrevenans de confiscation des Exemplaires contrefaits au profit de sondit Imprimeur : de trois mille livres d'amende, dont un tiers à l'Hôtel-Dieu de Paris, un tiers audit Imprimeur, & l'autre tiers au Dénonciateur, & de tous dépens, dommages & interêts ; à condition que ces Présentes seront enregistrées tout au long sur le Registre de la Communauté des Imprimeurs & Libraires de Paris, & ce dans trois mois de ce jour : que l'impression de chacun desdits Ouvrages sera faite dans notre Royaume & non ailleurs, & ce en bon papier & beaux caracteres, conformément aux Reglemens de la Librairie ; & qu'avant de les exposer en vente, il en sera mis de chacun deux Exemplaires dans notre Bibliothéque publique, un dans celle de notre Château du Louvre, & un dans celle de notre très-cher & féal Chevalier Chancelier de France le Sieur Daguesseau ; le tout à peine de nullité des Présentes. Du contenu desquelles vous mandons & enjoignons de faire jouir ladite Académie, ou ses ayans cause, pleinement & paisiblement, sans souffrir qu'il leur soit fait aucun trouble ou empêchement. Voulons que la copie desdites Présentes qui sera imprimée au commencement ou à la fin desdits Ouvrages, soit tenuë pour duement signifiée, & qu'aux copies collationnées par l'un de nos amés & feaux Conseillers & Secretaires, foi soit ajoutée comme à l'original. Commandons au premier notre Huissier ou Sergent de faire pour l'exécution d'icelles tous actes requis & nécessaires, sans demander autre permission, & nonobstant clameur de Haro, Charte Normande & Lettres à ce contraires. Car tel est notre plaisir. Donné à Paris le 29 jour du mois de Juin, l'an de grace 1717, & de notre Regne le deuxiéme. Par le Roy en son Conseil. Signé, FOUQUET.

Il est ordonné par l'Edit du Roy du mois d'Août 1686. & Arrêt de son Conseil, que les Livres dont l'impression se permet par Privilege de Sa Majesté, ne pouront être vendus que par un Libraire ou Imprimeur.

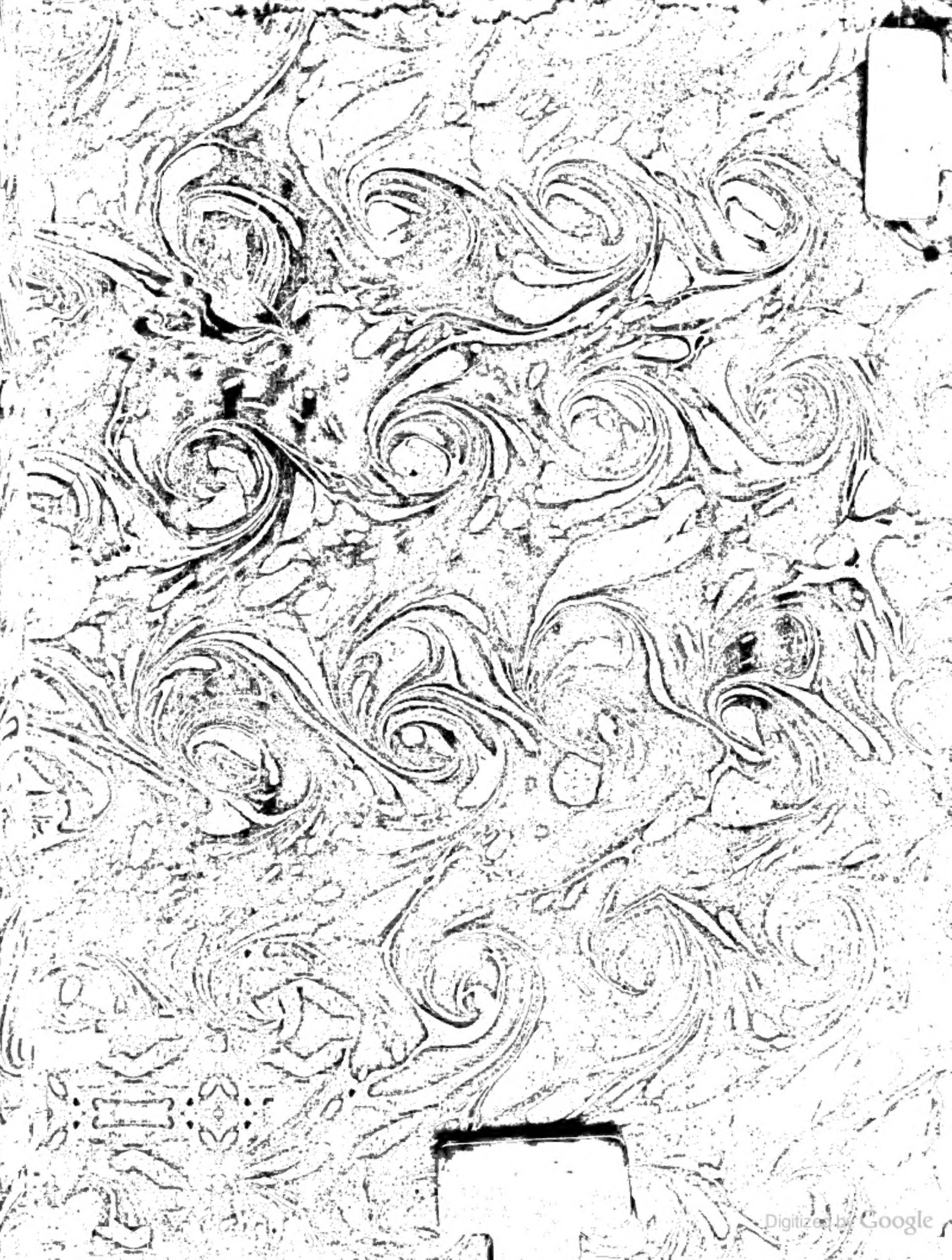
Registré le present Privilege, ensemble la Cession écrite ci-dessous, sur le Registre IV. de la Communauté des Imprimeurs & Libraires de Paris, p. 155. N. 205. conformement aux Reglemens, & notamment à l'Arrêt du Conseil du 13 Août 1703. A Paris le 3 Juillet 1717. Signé, DELAUNE, *Syndic.*

Nous soussigné Président de l'Académie Royale des Sciences, déclarons avoir en tant que besoin cedé le présent Privilege à ladite Académie, pour par elle & les différens Académiciens qui la composent, en jouir pendant le tems & suivant les conditions y portées. Fait à Paris le 11. Juillet 1717, *Signé*, J. P. BIGNON.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google